

**SOLUBILIZAÇÃO MICROBIANA  
DE FOSFATO NATURAL E SUA  
INTERAÇÃO COM FERTILIZANTES  
ORGÂNICOS NA CULTURA DO  
MILHO (Zea mays).**

**JORGE SANTOS RIBAS JUNIOR**

**ENGENHEIRO AGRÔNOMO**

**Orientador: FRANCISCO JOSÉ PEREIRA DE CAMPOS CARVALHO**

Dissertação apresentada ao  
Curso de Pós-graduação em  
Agronomia, da Universidade  
Federal do Paraná, para  
obtenção do Título de  
Mestre em Agronomia, área  
de concentração Ciência do  
Solo.

**CURITIBA**

**ESTADO DO PARANÁ - BRASIL**



"CIÊNCIA DO SOLO"

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestre, apresentada pelo candidato JORGE SANTOS REBAS JUNIOR, com o título "SOLUBILIZAÇÃO MICROBIANA DE FOSFATO NATURAL E SUA INTERAÇÃO COM FERTILIZANTES ORGÂNICOS NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*), para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o grau e o diploma de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo".

Observação:- O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba, 23 de dezembro de 1.987.

*Francisco José Pereira de Campos Carvalho*

Professor Francisco José Pereira de Campos Carvalho  
Presidente

*João Domingos Fontana*

Professor João Domingos Fontana  
Primeiro Examinador

*Beatriz Montez Serrat Prevedello*

Professora Beatriz Montez Serrat Prevedello  
Segundo Examinador



A minha esposa MARIA ELIANA, geradora  
de estímulos e meus queridos filhos  
FERNANDA e MARCELO, razões do VIVER.

A meus pais, JORGE (in memoriam) e  
CICÍLIA pelos exemplos de VIDA.

Meus irmãos JOSÉ ROBERTO e MÔNICA,  
eternos AMIGOS.

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof.Dr. FRANCISCO JOSÉ PEREIRA DE CAMPOS CARVALHO, pela valiosa orientação.

Ao Prof.Ms. JOSÉ ROBERTO RIBAS, pelos incansáveis trabalhos de co-orientação.

A Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento em nome dos Secretarios de Estado, Dr.CLAUS GERMER (1983/85) e Dr. OSMAR FERNANDES DIAS (1987/....), pela oportunidade e facilidades concedidas.

Aos professores do Curso de PÓS GRADUAÇÃO.

Aos companheiros de Curso: Luchesi, Faiden, Viana, Hélio, Luiz Claudio, Adolar, Marcos, Chodur, Cicília e Angélica.

Ao prof. João Daniel René Pimenta Bervique, pela redação do resumo em ingles.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de uma bolsa auxílio.

A Universidade Federal do Paraná, pela formação Acadêmica.

Afinal, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para execução deste trabalho

## INDICE

página

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	06
2.1. O Fósforo no solo.....	06
2.1.1.Comportamento e transformações do fósforo no solo.....	06
2.2. Classificação e características dos fosfatos naturais.....	09
2.3. Aplicação direta de fosfato de rocha ao solo....	13
2.4. Eficiência de extratores químicos na avaliação de disponibilidade de fósforo no solo.....	16
2.5. Solubilização de fosfatos minerais.....	21
2.5.1. Solubilização industrial.....	21
2.5.2. Solubilização biológica.....	26
2.6. Microbiologia da rizosfera.....	30
2.7. Solubilização microbiana de fosfatos naturais....	35
2.8. Solubilização microbiana de fosfatos orgânicos..	46
2.9. Parâmetros de avaliação da população microbiana do solo.....	57
2.10.Uso de lodo de esgoto e composto de lixo urbano na agricultura.....	63
2.11.A cultura do milho ( <u>Zea mays</u> ) em resposta a fertilização fosfatada no Estado do Paraná.....	72
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
3.1. Localização e característica da área experimental.....	74

3.2. Característica do fosfato natural utilizado.....	75
3.3. Características e composição química dos compostos orgânicos utilizados.....	76
3.3.1. Composto de lixo urbano.....	76
3.3.2. Lodo de esgoto.....	76
3.4. Desenho experimental.....	77
3.4.1. Delineamento experimental.....	77
3.4.2. Procedimento estatístico.....	78
3.5. Tecnologia de cultivo.....	79
3.6. Avaliação do experimento.....	80
3.6.1. Rendimento de grãos.....	80
3.6.2. Amostras de solo.....	80
3.7. Determinações analíticas do solo.....	82
3.7.1. Análise física do solo.....	82
3.7.1.1. Granulometria.....	82
3.7.1.2. Umidade atual.....	82
3.7.2. Análise química do solo.....	83
3.7.2.1. Determinação do pH.....	83
3.7.2.2. Determinação do fósforo.....	84
3.7.2.2.1. Extrator de Mehlich.....	84
3.7.2.2.2. Resina troca aniônica.....	84
3.7.2.3. Determinação do potássio.....	85
3.7.2.4. Determinação do carbono.....	85
3.7.2.5. Determinação do H + Al.....	85
3.7.2.6. Determinação do Ca + Mg.....	86
3.7.2.7. Determinação do P total.....	86

3.7.3. Análises microbiológicas.....	87
3.7.3.1. Contagem de Bactérias e Fungos totais e solubilizadores.....	87
3.7.3.2. Biomassa Microbiana Respiração	88
3.7.3.2.1. Biomassa microbiana..	88
3.7.3.2.2. Respiração.....	89
 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
4.1. Escolha dos parâmetros de análise e metodologia	90
4.2. Determinação de metais pesados no composto de lixo urbano e no lodo de esgoto.....	96
4.3. Avaliação da produção de milho em função dos tratamentos aplicados.....	99
4.4. Avaliação da cinética de solubilização do fósforo.....	106
4.5. Relação fósforo disponível / fósforo total.....	116
4.6. Respiração do solo.....	126
4.7. Biomassa microbiana do solo.....	131
4.8. População fúngica total e solubilizadores de fosfato.....	136
4.9. População bacteriana total e solubilizadoras de fosfato.....	146
 5. CONCLUSÕES.....	152
6. LITERATURA CITADA.....	156
7. APÊNDICE.....	168

## LISTA DE TABELAS

TABELAS	páginas
1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA INICIAL E FINAL DO SOLO NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	169
2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DE ESGOTO E DO COMPOSTO DE LIXO URBANO.....	170
3. DADOS CLIMÁTICOS PRINCIPAIS COLETADOS NA ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DE PIRAQUARA NO PERÍODO DE JULHO DE 1985 A JUNHO DE 1986.....	171
4. PRODUÇÃO OBTIDA NA CULTURA DO MILHO ( <u>Zea mays</u> ) ENTRE AS MÉDIAS DOS DIFERENTES TRATAMENTOS.....	172
5. DEMONSTRATIVO DA CINÉTICA DE SOLUBILIZAÇÃO DO FÓSFORO ENTRE TRATAMENTOS, COLETAS E METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO.....	173
6. MÉDIA DOS TEORES DE FÓSFORO TOTAL ENTRE PARCELAS PARA OS TRATAMENTOS APLICADOS (em ppm).....	174
7. RELAÇÃO FÓSFORO DISPONÍVEL / FÓSFORO TOTAL.....	175
8a. EVOLUÇÃO DO CO <sub>2</sub> -C PELO SOLO FUMIGADO.....	176
8b. EVOLUÇÃO DO CO <sub>2</sub> -C PELO SOLO NÃO FUMIGADO.....	177
8c. ESTIMATIVA DA BIOMASSA C.....	178
9. EVOLUÇÃO DA TAXA DE RESPIRAÇÃO DO SOLO ENTRE OS TRATAMENTOS NAS DIFERENTES ÉPOCAS NO PERÍODO DE 0 - 10 DIAS DE INCUBAÇÃO (em mg CO <sub>2</sub> / 100g solo).....	179
10. DEMONSTRATIVO DE VARIAÇÃO DO NÚMERO DE FUNGOS TOTAL E SOLUBILIZADORES DE FOSFATO ENTRE OS DIFERENTES TRATAMENTOS E COLETAS (g / solo x 10 <sup>3</sup> ).....	180



11. DEMONSTRATIVO DE VARIAÇÃO DO NÚMERO DE BACTÉRIAS TOTAL E SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO ENTRE OS DIFERENTES TRATAMENTOS E COLETAS (g / solo x 10 <sup>4</sup> ).....	181
12. RECURSOS DOS MINERAIS FOSFATADOS BRASILEIROS.....	182
13. CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS ADUBOS FOSFATADOS USADOS NO BRASIL.....	183
14. ANÁLISE DA VARIÂNCIA ENTRE TRATAMENTOS E ENTRE REPETIÇÕES NA PRODUÇÃO DO MILHO.....	184
15. TESTE DE DIFERENÇA ENTRE MÉDIAS (DUNCAN) PARA OS TRATAMENTOS NA PRODUÇÃO DO MILHO.....	185
16. ANÁLISE DA VARIÂNCIA AOS 141 DIAS EXPERIMENTAIS PARA TEORES DE FÓSFORO SOLÚVEL - EXTRATOR DE MEHLICH....	186
17. DIFERENÇA ENTRE MÉDIAS AOS 141 DIAS EXPERIMENTAIS PARA TEORES DE FÓSFORO SOLÚVEL - EXTRATOR DE MEHLICH....	187
18. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA A TESTEMUNHA ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE.....	188
19. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O FOSFATO NATURAL ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE.....	189
20. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O LIXO URBANO ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE.....	190
21. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O LODO DE ESGOTO ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE.....	191
22. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O LIXO URBANO + FOSFATO ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE....	192
23. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O LODO DE ESGOTO + FOSFATO ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE....	193

24. COEFICIENTES DE VARIAÇÃO ENTRE P.MEHLICH E P.RESINA PARA A TESTEMUNHA.....	194
25. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO OBTIDA E O P.MEHLICH E P.RESINA AOS 141 DIAS EXPERIMENTAIS..	195

## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	páginas
1. DEMOSTRATIVO DA VARIAÇÃO DE PRODUÇÃO ENTRE AS MÉDIAS DOS TRATAMENTOS NA CULTURA DO MILHO.....	101
2. COMPARAÇÃO RELATIVA DAS MÉDIAS DE PRODUÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS.....	105
3. CURVAS DOS EFEITOS DA TESTM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT. NO FÓSFORO DISPONIVEL: EXTRATOR DE MEHLICH.....	107
4. CURVAS DOS EFEITOS DA TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG. + FOSF. NAT. NO FÓSFORO DISPONIVEL: EXTRATOR DE MEHLICH.....	108
5. CURVAS DOS EFEITOS DA TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT. NO FÓSFORO DISPONIVEL: EXTRATOR RESINA.....	114
6. CURVAS DOS EFEITOS DA TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG. + FOSF. NAT. NO FÓSFORO DISPONIVEL: EXTRATOR RESINA.....	115
7. RELAÇÃO FÓSFORO DISPONIVEL / FÓSFORO TOTAL NO SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT.: EXTRATOR DE MEHLICH.....	117
8. RELAÇÃO FÓSFORO DISPONIVEL / FÓSFORO TOTAL NO SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG. + FOSF. NAT.: EXTRATOR DE MEHLICH.....	118
9. DIFERENÇAS DA EVOLUÇÃO DO FÓSFORO SOLUVEL (ppm) NA CULTURA DO MILHO. TRATAMENTO COM FOSFATO NATURAL X TESTEMUNHA.....	121

10. DIFERENÇAS DA EVOLUÇÃO DO FÓSFORO SOLUVEL (ppm) NA CULTURA DO MILHO. TRATAMENTO COM LIXO URBANO X TESTEMUNHA.....	122
11. DIFERENÇAS DA EVOLUÇÃO DO FÓSFORO SOLUVEL (ppm) NA CULTURA DO MILHO. TRATAMENTO COM LÔDO ESGOTO X TESTEMUNHA.....	123
12. DIFERENÇAS DA EVOLUÇÃO DO FÓSFORO SOLUVEL (ppm) NA CULTURA DO MILHO. TRATAMENTO COM LIXO + FOSFATO X TESTEMUNHA.....	124
13. DIFERENÇAS DA EVOLUÇÃO DO FÓSFORO SOLUVEL (ppm) NA CULTURA DO MILHO. TRATAMENTO COM LÔDO + FOSFATO X TESTEMUNHA.....	125
14. EVOLUÇÃO DA TAXA DE RESPIRAÇÃO NO SOLO ENTRE TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT.....	127
15. EVOLUÇÃO DA TAXA DE RESPIRAÇÃO NO SOLO ENTRE TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG. + FOSF. NAT.....	128
16. EVOLUÇÃO DA ESTIMATIVA DA BIOMASSA C NO SOLO ENTRE TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB.+FOS. NAT.	132
17. EVOLUÇÃO DA ESTIMATIVA DA BIOMASSA C NO SOLO ENTRE TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG.+FOS. NAT.	133
18. EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE FUNGOS TOTAIS POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT.....	137
19. EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE FUNGOS TOTAIS POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG. + FOSF. NAT.....	138

20. EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE FUNGOS SOLUBILIZADORES POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT.....	140
21. EVOLUÇÃO DO NUMERO DE FUNGOS SOLUBILIZADORES POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG. + FOSF. NAT.....	141
22. RELAÇÃO FUNGOS SOLUBILIZADORES / FUNGOS TOTAIS POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT.....	142
23. RELAÇÃO FUNGOS SOLUBILIZADORES / FUNGOS TOTAIS POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG. + FOSF. NAT.....	143
24. EVOLUÇÃO DO NUMERO DE BACTERIAS TOTAIS POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT.....	145
25. EVOLUÇÃO DO NUMERO DE BACTERIAS TOTAIS POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG. + FOSF. NAT.....	146
26. EVOLUÇÃO DO NUMERO DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT.....	148
27. EVOLUÇÃO DO NUMERO DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG. E LÔDO ESG. + FOSF. NAT.....	149
28. RELAÇÃO BACTERIAS SOLUBILIZADORAS / BACTERIAS TOTAIS POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LIXO URB. E LIXO URB. + FOSF. NAT.....	150

29. .RELAÇÃO BACTERIAS SOLUBILIZADORAS / BACTERIAS TOTAIS	
POR GRAMA DE SOLO PARA TESTEM., FOSF. NAT., LÔDO ESG.	
E LÔDO ESG. + FOSF. NAT.....	151

## RESUMO

A utilização de formas de fosfato que apresentem menor solubilidade no solo, implicam num aumento desta pela via microbiana, a qual depende da adição de matéria orgânica no solo para sua ativação. Nossa experimentação foi constituída pelos seguintes tratamentos: testemunha, fosfato natural, composto de lixo urbano, lodo de esgoto, composto de lixo urbano mais fosfato natural, lodo de esgoto mais fosfato natural. A análise da cinética de solubilização do fósforo pelo extrator de Mehlich apresentou os seguintes resultados: a) o tratamento com composto de lixo urbano solubilizou mais fósforo no solo que a testemunha, o fosfato natural e o lodo de esgoto; b) a parcela com lodo de esgoto foi superior ao fosfato natural e a testemunha; c) o tratamento com fosfato natural apresentou maior poder de solubilização somente em relação a testemunha; d) os tratamentos com composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, foram os que mais solubilizaram fósforo no solo, não havendo diferenças significativas entre ambos. Alguma relação foi encontrada entre os tratamentos quando comparada a produção do milho e a solubilização do fósforo no solo pelo método de Mehlich. Os resultados da Biomassa microbiana do solo e Respiração

apresentaram certa correlação com os dados de produção, cinética do fósforo solúvel pelo extrator de Mehlich e contagens das populações fúngicas e bacterianas. Os resultados permitem concluir que existe correlação entre a matéria orgânica e o fosfato natural quando adicionados conjuntamente no solo na solubilização do fósforo no solo e que através das determinações do número de fungos e bactérias totais e solubilizadores bem como da biomassa microbiana, evidencia-se a participação dos microorganismos do solo pelo aumento de atividade na degradação do material orgânico adicionado.



## SUMMARY

The usage of shapes of phosphate which presents less solubility in the soil, involves a raising of the latter through microbial activity which depends on the addition of organic matter in the soil for its activation. Our experiment was made by the following treatments: proof, rock phosphate, compost urban waste, urban sludge, compost urban waste plus rock phosphate, urban sludge plus rock phosphate. The kinetic analysis of the phosphate solubility by the Mehlich extractor showed the following: a) treatment with compost urban waste solubilized more phosphorus in the soil than the proof, the rock phosphate and the urban sludge; b) the treatment with urban sludge was superior to the rock phosphate one and to the proof; c) the treatment with rock phosphate showed larger power of solubility only related to the proof; d) the treatments with compost urban waste plus rock phosphate and urban sludge plus rock phosphate, were those of higher phosphate solubilization in the soil, with no significant differences among them. Some relation was found among the treatments when compared to the production of corn and the phosphorus solubility in the soil by the Mehlich method. The data of soil biomass and soil respiration showed some correlation with: production data, kinetic of

the soluble phosphorus by the Mehlich extractor and counting of the fungal and bacterian classes. The results may indicates that there is correlation between the organic matter and the rock phosphate solubilization when they are added together to the soil. Also the observed data of the total fungo and bacterial population as well the solubilizing population and microbial biomass, indicates the participation of the soil microorganisms by the increase of the degradation activity on the added organic matter.

## INTRODUÇÃO

Uma das preocupações do setor de produção agrícola reside no baixo nível de eficiência dos insumos de produção. Em relação a nutrição de plantas, vários estudos são desenvolvidos no sentido de aumentar a eficiência das fertilizações, reciclagem de nutrientes no solo, uso de resíduos orgânicos e fertilizantes de baixa solubilidade.

Neste sentido, pode-se afirmar, que, sem uma fertilização racional do solo e um reaproveitamento adequado dos resíduos urbanos na agricultura, aliado ao processo de crescimento da população, principalmente urbana, o solo será continuamente degradado, acarretando numa perda de produção.

A agricultura brasileira depende de aplicações relativamente altas de fertilizantes, em função do esgotamento de solos mais férteis e da sua expansão para áreas de solos de baixa fertilidade natural. Entre os nutrientes, o fósforo se apresenta como o mais deficiente e o que promove maiores incrementos na produtividade das

culturas, explicando o alto consumo relativo de fertilizantes fosfatados no país (GOEDERT e SOUSA, 1986).

O fósforo apresenta um ciclo biogeoquímico restrito, sendo encontrado em meteoritos, nas rochas, no solo, na água e em todos os seres vivos e não encontrado na atmosfera. Sob o ponto de vista ecológico é um dos elementos mais importantes, por transferir energia para todas as atividades metabólicas celulares (LOPES *et alii*, 1985).

A matéria-prima básica para fabricação de fertilizantes fosfatados é a rocha fosfatada, mais comum na forma apatítica. Trata-se de um recurso natural não renovável e que não tem sucedâneo para as plantas. Seu transporte requer apreciável consumo de energia. Desse modo, há necessidade de se estabelecer estratégias para o seu uso eficiente, merecendo destaque um processo de transformação viável e eficaz.

O principal mecanismo de assimilação do fósforo pelas plantas é o processo de difusão, onde o íon, que é absorvido principalmente na forma de  $H_2PO_4$ , se move lentamente na solução do solo até encontrar as raízes e ser absorvido (LOMBARDI, 1981). A disponibilidade depende, por esse

motivo, da sua constante liberação na solução do solo. Sob esse aspecto, o papel dos microorganismos é fundamental na nutrição fosfatada, mineralizando as reservas de fósforo orgânico, dissolvendo fontes insolúveis de fosfatos inorgânicos e captando fósforo solúvel em regiões não alcançadas pelas raízes, fora da zona de depleção, transferindo-o para as plantas, bem como imobilizando o fósforo do solo no seu próprio protoplasma celular, tornando-o indisponível às plantas.

Uma parcela importante da população microbiana edáfica possui a habilidade de mineralizar fosfatos orgânicos e solubilizar fosfatos inorgânicos, permitindo a liberação de  $H_2PO_4$ , diretamente assimilável pelas plantas.

Essa solubilização de fosfatos ocorre pela ação de ácidos orgânicos, inorgânicos e  $CO_2$ , produzidos nos processos normais do metabolismo de bactérias e fungos (TARDIEUX-ROCHE, 1966), que habitam principalmente a rizosfera das plantas (SPERBER, 1958).

Embora a existência, no solo, de microorganismos capazes de transformar os fosfatos através de suas atividades metabólicas e que este processo tenha motivado

várias pesquisas visando um melhor aproveitamento dos fosfatos naturais insolúveis, a simples presença deles e o grande número de trabalhos "in vitro", ou em condições muito simplificadas, não permitem, apesar de seu valor científico, avaliar as possibilidades reais do processo no complexo biológico do solo.

A aplicação prática dos resultados "in vitro" encontra obstáculos pois, o ambiente químico produzido pelos microorganismos em meios artificiais não é uma reprodução daquele do solo, ou quando isso acontece, ocorre interferência de certos constituintes do solo no processo de solubilização dos fosfatos. Além disso, os organismos utilizados, geralmente se encontram em culturas puras, não sendo levados em conta os fenômenos antagônicos, normalmente existentes entre os microorganismos do solo (BLOOMFIELD, 1963).

Segundo BRADY(1983), compostos orgânicos adicionados ao solo são importantes fontes de fósforo, enxofre e nitrogênio. Mediante seus efeitos nas condições físicas do solo, estes compostos ajudam a aumentar a quantidade de água que fica disponível para o crescimento vegetal. O composto de lixo urbano bem como o lodo de esgoto são fontes ricas em fósforo orgânico, e apresentam boa

possibilidade de uso na agricultura, visto o baixo custo e abundância, principalmente nos grandes centros urbanos, além do importante papel como indutores de solubilidade de fosfato de rocha pelo aumento da atividade microbiana.

O presente trabalho conduzido "In situ", teve por objetivo estudar os efeitos de dois resíduos orgânicos de origem urbana, nas transformações de um fosfato natural insolúvel, por microorganismos do solo, utilizando como planta teste na avaliação o milho(Zea mays).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O FÓSFORO NO SOLO

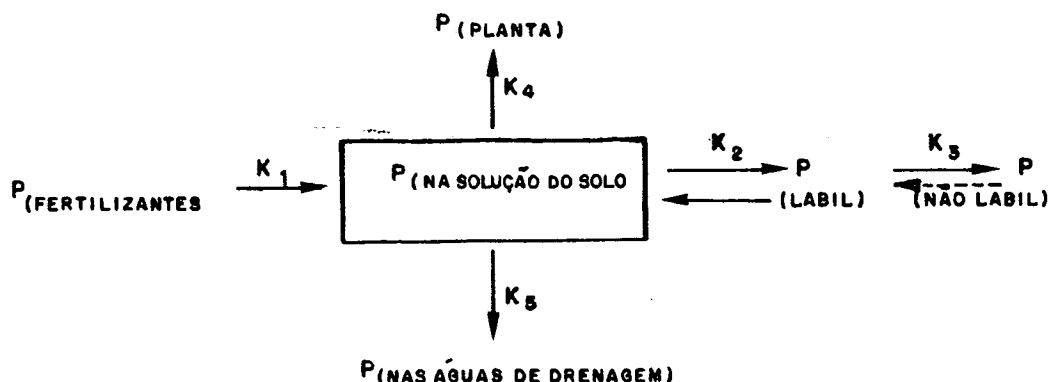
#### 2.1.1. COMPORTAMENTO E TRANSFORMAÇÕES DO FÓSFORO NO SOLO.

O fósforo ocorre no solo sob as mais diversas formas e em diferentes graus de solubilidade. Assim, ele poderá estar presente nos minerais primários, adsorvido à superfície de partículas, combinado com cálcio, ferro, alumínio ou, imobilizado pelos seres vivos.

Como o fósforo é um elemento de primeira importância para os microorganismos e para os vegetais, vem sendo objeto de permanente interesse para um grande número de pesquisadores. Desta forma, o estudo de sua dinâmica no solo, incluindo uma série de reações e transformações, dá margem a numerosas interpretações que demonstram ser extremamente complexas (MEZARI *et alii*, 1963).



Um conjunto de reações de equilíbrio, mostradas abaixo foram propostas por VOLKWEISS e RAIJ (1976) para explicar a dinâmica de um fertilizante fosfatado adicionado ao solo como fertilizante sólido:



Este conjunto não segue rigorosamente a sequência numérica apresentada pelas constantes de equilíbrio, haja vista que as cinco fases de equilíbrio poderão estar ocorrendo em determinado momento, e em outros apenas algumas (OLEYNIK, 1980).

Com base neste conjunto de reações, é considerada eficiente fonte de fósforo, o fertilizante fosfatado que adicionado ao solo supre o íon fosfatado à solução do solo, em tempo hábil em quantidades suficientes para o desenvolvimento da planta ( $K_1$ ) (OLEYNICK, 1980).

Sob o ponto de vista agronômico, acrescenta-se a esta definição a absorção e utilização de P(solução) pela planta como fator de produção ( $K_1$  e  $K_4$ ). Assim a eficiência agronomica de um fertilizante fosfatado pode ser considerada como o reflexo em produtividade, a curto ou a longo prazo, ocasionada pela adição ao solo de determinada fonte de P (OLEYNICK, 1980).

Um efeito importante a ser considerado de acordo com LARSEN (1971), é o tempo, visto o comportamento apresentado por duas fontes de fósforo no solo: uma prontamente solúvel e outra de baixa solubilidade. Observou que a fonte fosfatada de maior poder solúvel no solo tem a sua disponibilidade máxima no tempo zero, decrescendo continuamente e tendendo a se estabilizar. O fosfato de baixa solubilidade caracteriza-se por apresentar a sua disponibilidade aumentada gradativamente com o tempo até atingir um máximo, após o qual entra em decréscimo. Observou que o fosfato natural apresenta um efeito residual no solo maior que a fonte de fosfato mais solúvel.

O efeito residual do fosfato de rocha, segundo LOMBARDI (1981), é consequência da menor velocidade de sua dissolução no solo, sendo esta favorecida nos solos que apresentam reações levemente ácidas.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS FOSFATO NATURAIS.

Fosfatos naturais, assim são designados os fosfatos de rochas moidas quer sejam de origem ígnea, metamórfica ou sedimentar para aplicação/direta na agricultura, ou fonte de fósforo para fosfatos industriais (OLEYNICK, 1980).

KHASAWNEH e DOLL (1978) citam que existem muitas confusões entre autores a respeito de termos utilizados para designar fosfatos naturais, provenientes desta ou daquela fonte.

No Brasil, por exemplo, dois termos foram designados: "fosforitas" para caracterizar os fosfatos provenientes de depósitos sedimentares como os de Olinda e "apatitas" para os fosfatos de depósitos ígneos e metamórficos (COELHO e VERLENGIA, 1973).

Mc CLELLAN e GREMILLION (1978) citados por KHASAWNEH e DOLL (1978) apresentam uma classificação dos fosfatos

naturais em três classes, em função de seus aspectos econômicos e mineralógicos. A transcrição desta classificação é válida para comparar resultados a nível internacional e se possível comunicar neste mesmo nível os resultados da pesquisa brasileira para evitar mais confusões. Os autores propõem as classes: compostos fosfatados de ferro e alumínio, compostos fosfatados de ferro, alumínio e cálcio e fosfatos de cálcio.

A terceira classe ou fosfatos de cálcio, é constituída pelo grupo da apatitas distinguida pela sua estrutura cristalina, representada pela fluoroapatita  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$  a qual neste estado de pureza ocorre em poucos e raros casos. Neste grupo estão incluídas todas as apatitas, com seus vários graus de substituições isomórficas, também chamadas de francolitas ou carbonato-apatitas (OLEYNICK, 1980).

O caráter físico mais importante refere-se a granulometria, ou seja, o tamanho e forma das partículas. A última Legislação Brasileira (1983), estabelece para os fosfatos naturais que o material deve passar no mínimo 85% na peneira ABNT no 200 (abertura de 0,075 mm). A eficiência dos fosfatos naturais aumenta à medida que cresce o grau de

finura das partículas, devendo ser aplicados a lanço e bem incorporados ao solo (BARBOSA FILHO, 1984).

As reservas geológicas de fosfato de rocha no Brasil segundo a Tabela 12, são estimadas em aproximadamente 2,5 bilhões de toneladas, com teor médio de 12 a 13% de  $P_{205}$ , que corresponde de 300 a 325 milhões de toneladas de  $P_{205}$  contido (CARVALHO, 1977).

Os fosfatos naturais, atualmente produzidos (tabela 13) são na sua grande parte utilizados como matéria-prima para a produção de superfosfatos. Apenas parte dos fosfatos de araxá, patos de minas e catalão/ouvidor são usados para aplicação direta e produção de fosfatos naturais parcialmente acidulados. Quanto ao comportamento agrícola, os de origem sedimentar tem um comportamento médio a bom, enquanto, as ígneas cristalinas são de baixa eficiência (BARBOSA FILHO, 1984).

Considerando que as reservas brasileiras de fósforo são ilimitadas, e que o fósforo não é um elemento renovável na natureza, bem como indispensável para fertilizações de milhões de hectares de terras agriculturáveis no país, estudos deverão ser desenvolvidos, visando tecnologias não

convencionais de processamento e uso, que levem a resultados promissores.

### 2.3.APLICAÇÃO DIRETA DE FOSFATO DE ROCHA AO SOLO

A aplicação direta de fosfato de rocha ao solo como fonte de fertilizante fosfatado é uma prática bem empregada em escala mundial.

Numerosos experimentos estão sendo conduzidos, visando determinar fatores favoráveis de solo e adaptação de culturas. Contudo, de acordo com o Relatório da FAO 1975, observa-se que a aplicação direta ao solo de fosfato de rocha representa apenas 5% do consumo total, estimado em 24 milhões de toneladas métricas de  $P_2O_5$  ano, para o período de 1974 - 75. Aproximadamente 1,2 milhão de toneladas de  $P_2O_5$  na forma de fosfato de rocha são aplicadas na agricultura, com 73% deste consumo, concentrado na União Soviética, 20% nos países menos desenvolvidos da América Latina e África e 7% no Oeste Europeu (KHASAWNEH e DOLL, 1978).

Vasconcelos *et alii* (1986) observa ser importante a caracterização física e química do fosfato natural, antes de seu uso na agricultura, sendo este aspecto objeto de

numerosos estudos no Brasil com relação as suas reações no solo e eficiência para as plantas.

Dado o elevado custo dos fertilizantes, procura-se alternativas, como o uso de fosfatos naturais aplicados diretamente ao solo. Todavia esta prática requer avaliações de eficiência das diferentes fontes, durante tempos de reação ao solo (KAMPRATH, citado por VASCONCELOS *et alii*, 1986).

BARBOSA FILHO (1984), cita que, para os fosfatos naturais darem resultados satisfatórios é necessário um certo tempo, a fim de que seja devidamente aproveitado pelas culturas. Dessa forma são consideradas boas fontes de fósforo para fertilização corretiva, a qual consiste na aplicação em dose elevada a lanço, visando elevar o nível de fósforo no solo a um nível pre-estabelecido. Para tanto, os altos custos iniciais requerem financiamento adequado, estabilidade de posse da terra e o plantio de culturas de alto valor econômico. Neste caso, o alto custo inicial deve ser considerado pelos produtores e agentes financeiros, como investimento a ser amortizado durante vários anos.



A possibilidade de aplicação direta dos fosfatos naturais tem sido estudada por vários autores, contudo a eficiência desses minerais tem demonstrado ser baixa, principalmente quando utilizados para culturas de ciclo curto (FEITOSA *et alii*, 1978; BRAGA *et alii*, 1980).

Atividades microbiológicas no solo que resultem em sua acidificação podem, em alguns casos, contribuir para a solubilização de compostos pouco solúveis de fósforo. Essa propriedade que possuem vários microorganismos do solo vem sendo estudada por muitos pesquisadores com a finalidade de aproveitar os fosfatos naturais como fontes de fertilizantes.

#### 2.4.EFICIENCIA DE EXTRATORES QUIMICOS NA AVALIAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE FOSFORO NO SOLO.

A análise do solo e o historico constituem os principais critérios para diagnostico da disponibilidade do fósforo em solos no Brasil e vem sendo usados ha mais de meio século em algumas regiões do Brasil. A análise foliar, embora ofereça perspectivas promissoras em algumas culturas, o uso é ainda bastante restrito (CABALA e SANTANA, 1983).

A extração de fósforo do solo por diferentes solventes, bem como o grau de correlação entre quantidades extraídas desse elemento e as respostas das culturas à adubação fosfatada, sempre despertaram o interesse de quimicos e técnicos em fertilidade do solo. Ainda hoje as soluções extratoras continuam em uso nas análises para recomendação de fertilizantes, apesar das frequentes criticas apresentadas, não somente porque o fósforo extraído por esses solventes vem de fração não identificada, como também porque não se encontrou ainda uma solução adequada para todas as condições de solo (RUSSEL, 1973).

Existe uma variedade muito grande de métodos de extração de fósforo em solos, o que não deixa de ser um reflexo da complexidade do comportamento do elemento no solo (RAIJ, 1978).

Para nenhum outro nutriente existem tantos trabalhos dedicados a métodos de extração. Soluções das mais diversas tem sido usadas, incluindo água, soluções tamponadas de ácidos fracos, soluções diluídas de ácidos fortes, soluções tamponadas de bases e soluções de sais diversos, isto com varias alternativas de concentrações, pH, relações de solução para solo, tempos de agitação, etc. Cada uma das técnicas de extração leva a resultados diferentes. Isto faz com que haja a necessidade de padronizar cada método de extração e calibra-lo regionalmente. Quando isto é feito, pode-se chegar a soluções razoaveis do ponto de vista prático, embora comparações entre regiões que usam diferentes métodos fiquem prejudicadas (RAIJ, 1978).

Amplas revisões sobre métodos de extração de fósforo tem sido publicadas, citando como exemplos as de THOMAS e PEASLEE (1973) e RAIJ (1978).

No Brasil são usados dois extratores para fósforo no solo: o ácido sulfúrico 0,05N e o duplo ácido, constituído de ácido sulfúrico 0,025N em ácido clorídrico 0,05N, que apresentam resultados praticamente semelhantes, sendo expressos em ppm (partes por milhão) ou ug/ml (microgramas por ml), que são equivalentes (RAIJ, 1978).

Extratores ácidos como os mencionados podem extrair mais fósforo ligados a cálcio no solo e apenas as partes mais solúveis de fósforo ligados a ferro e alumínio (RAIJ, 1978).

Segundo RAIJ (1987), os extratores ácidos, quando utilizados em solos que receberam fosfatos naturais de baixa solubilidade, causam uma ação dissolvente nesses resíduos de fosfatos, que não são disponíveis para as plantas de uma forma geral, fornecendo resultados irrealisticamente elevados.

SFREDO *et alii* (1979), comparou a eficiência do método de Mehlich a de outros extratores, na recuperação de fósforo aplicado num latossolo roxo distrofico, nas formas de superfosfato triplo, hiperfosfato (fosfato de gafsa) e fosfato natural patos de minas. Via de regra, o método de

Mehlich foi um dos que extraiu mais fósforo quando se usou hiperfosfato e fosfato natural patos de minas. Concluíram os autores, para todas as fontes de fosfato, que as soluções extratoras de Olsen e Bray 1, foram as mais estáveis na recuperação do fósforo no solo, em função do tempo.

Em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio o produto final, da reação de fosfatos solúveis das fertilizações em solos, são fosfatos de ferro e alumínio. Tendo em vista isto, outros extratores tem sido testados, mais específicos para estas formas de fósforo. Dois métodos muito importantes, o Olsen que utiliza a extração com solução 0,5N de bicarbonato de sódio a pH 8,5 e o Bray 1, que utiliza a extração com fluoreto de amônio 0,03N em ácido clorídrico 0,05N.

RAIJ (1978) diz que os extratores ácidos atualmente em uso tem um sério problema que os métodos Bray 1 e Olsen não tem. Eles dissolvem resíduos de fosfatos naturais, que tem pouco a ver com o fósforo solúvel. A consequência é a obtenção de resultados excessivamente elevados em alguns solos que receberam aplicações recentes de fosfato natural.

Um método com perspectivas interessantes para determinar fósforo no solo é o que utiliza na extração uma resina trocadora de íons. O solo é agitado em água com a resina e o fósforo passa do solo para a resina, através da água (RAIJ, 1978). Porém poucos estudos foram realizados nos diferentes Estados e para diferentes classes de solos cabendo um espaço muito grande para até então ser considerado como método superior nas análises de fósforo no solo.

Constitui fato extensamente comprovado, todavia, que os métodos em uso não tem funcionado em determinados tipos de solos (MUZZILLI, 1982); principalmente quando se aplicam rochas fosfatadas (CABALA e SANTANA, 1983). O problema parece agravar-se ainda mais quando tais rochas são de baixo valor fertilizante pois, nessas circunstâncias, as correlações com a resposta biológica apresentam valores extremamente baixos (CABALA e SANTANA, 1983).

## 2.5. SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATOS MINERAIS

### 2.5.1. SOLUBILIZAÇÃO INDUSTRIAL

Uma das formas de expressar a quantidade do fósforo é na forma de pentóxido ( $P_2O_5$ ), podendo sua solubilidade ser determinada em água, citrato de amônia e ácido cítrico 2%.

Entre os fertilizantes fosfatados mais comuns no Brasil, encontram-se os superfosfatos, solúveis em água e obtidos a partir da rocha fosfatada moída, que pela ação do ácido sulfúrico originam o superfosfato simples com 14 a 18% de  $P_2O_5$ , o superfosfato "30" com 28% de  $P_2O_5$  é obtido pela ação do ácido sulfúrico e fosfórico e o superfosfato triplo com 38 a 40% de  $P_2O_5$  pela ação do ácido fosfórico.

Trata-se de produtos solúveis quando incorporados ao solo, com alta capacidade de liberar fósforo para as plantas e, portanto, com alta eficiência agronomica como fertilizantes fosfatados.

Os superfosfatos tem mostrado eficiência similar no que concerne ao fornecimento de fósforo para as plantas. Contudo, o superfosfato simples contém menor teor de fósforo total, fazendo com que seu preço por unidade de fósforo seja maior para o agricultor, em função do custo de transporte. Essa desvantagem pode ser compensada pelos seus efeitos secundários (maior conteúdo de cálcio e enxofre), fato já comprovado em solos com deficiência desses nutrientes e em solos em que as plantas apresentam crescimento radicular limitado devido o baixo teor de cálcio no perfil (RITCKEY *et alii*, 1980; citado por GOEDERT *et alii*, 1986).

Os fosfatos mono e diamoníacos, também solúveis em água, são obtidos a partir da neutralização parcial do ácido fosfórico pela amônia e posterior cristalização e granulação. Neste grupo também encontram-se os polifosfatos de amônia, originados a partir da neutralização do ácido superfosfórico pela amônia e o superfosfato amonificado, resultante do tratamento do superfosfato simples com amônia.

Os fosfatos de amônia são igualmente fontes eficientes de fósforo mas também necessitam de enxofre para a sua fabricação. Adicionalmente, não possuem cálcio e enxofre em sua composição e podem apresentar relação  $N/P_{2O_5}$  desfavorável para utilização direta em algumas culturas.



Essas fontes são mais utilizadas em formulações de fertilizantes.

No grupo dos fertilizantes insolúveis em água, mas solúveis em citrato de amônia e ácido cítrico 2%, o fosfato bicalcico fabricado pela ação do ácido sulfúrico ou ácido clorídrico com a rocha fosfatada moída, e o nitrofosfato, produzido a partir da rocha fosfatada moída com ácido nítrico ou por misturas de ácido sulfúrico e ácido nítrico ou ácido fosfórico mais ácido nítrico.

Entre outros tipos de fosfatos industriais, encontramos as escórias básicas de deformação, sendo esta um sub-produto da indústria do aço, fabricado a partir do ferro gusa, rico em fósforo e os termofosfatos, obtidos a partir da calcinação da rocha fosfatada com material fundente.

Os termofosfatos, em termos de eficiência agrônoma, são excelentes indicações para os solos tropicais. No entanto apresentam limitações pelo elevado preço de mercado, baixo teor de fósforo solúvel e apresentação na forma de pó, que dificulta sua aplicação no solo (GOEDERT *et alii*, 1986).

A produção de fosfatos parcialmente acidulados em escala comercial é muito recente no Brasil e resultou da necessidade de economizar enxofre e aproveitar fosfatos de rocha com alto grau de impurezas, principalmente óxidos de ferro e de alumínio (CEKINSKI e BETTIOL, 1983).

A composição química e dados de solubilidade de materiais tratados em diversas quantidades de ácido sulfúrico mostraram que a quantidade de fósforo extraído pelas soluções tradicionalmente usadas (água, ácido cítrico e citrato de amônia) está diretamente relacionada a quantidade de ácido sulfúrico utilizado por tonelada de fosfato de rocha (GOEDERT e SOUSA, 1986).

Trabalhos de pesquisa tem indicado que a eficiência agrônoma dos fertilizantes parcialmente acidulados é inferior a dos fosfatos solúveis. Em termos médios, essa eficiência varia em torno de 60% em relação ao superfosfato triplo.

GOEDERT et alii (1986), cita que para se obter uma mesma produção, é necessário aplicar ao solo aproximadamente o dobro de  $P_{2O_5}$  total na forma de parcialmente acidulado do que de superfosfato triplo. Desse modo, para ser viável

economicamente, o preço de um quilograma de  $P_2O_5$  total na forma de parcialmente acidulado deve ser igual a metade do preço do quilograma de  $P_2O_5$  total na forma de superfosfato triplo.

Alem do ácido sulfurico, outras substancias tem sido testadas para solubilização dos fosfatos brasileiros. Essas alternativas se justificam na medida em que representam opções de melhor aproveitamento de algumas rochas e utilização de produtos da industria nacional como agentes solubilizadores. Atualmente estão sendo testados os seguintes agentes: ácido fosfórico, ácido nítrico, nitrato de ureia, fosfato de ureia e bissulfato de amonio (GOEDERT *et alii*, 1986).

### 2.5.2. SOLUBILIZAÇÃO BIOLÓGICA

A maior parte dos fosfatos produzidos no Brasil, dependem de ácido sulfúrico produzido com enxofre importado. O interesse em otimizar o uso de matérias primas nacionais tem motivado a pesquisa de novos processos.

A exemplo da solubilização industrial dos fosfatos pela utilização de ácidos fortes, ácidos orgânicos e inorgânicos são produzidos por microorganismos do solo, e que podem contribuir significativamente na dissolução de minerais fosfatados pouco solúveis.

Essa propriedade que possuem vários microorganismos do solo vem sendo estudada por muitos pesquisadores com a finalidade de aproveitar os fosfatos naturais como fontes de fertilizantes (LOMBARDI, 1981).

Neste sentido, uma maneira de se aumentar a eficiência dos fosfatos naturais é a acidificação biológica por grupos de microorganismos do solo.

LIPMAN *et alii* (1916), citado por LOMBARDI (1981), exploraram um processo microbiológico de acidificação do solo para solubilizar fosfatos naturais. O processo estudado foi, a oxidação do enxofre por microorganismos do genero Thiobacillus, do qual resulta, como produto final, o ácido sulfurico. Esses pesquisadores obtiveram solubilização de fosfato de rocha a partir de misturas do fosfato com enxofre incorporados ao solo. Alguns estudos na Australia evidenciaram a viabilização da aplicação prática do processo, encontrando boas perspectivas para utilização em pastagens e culturas perenes.

As condições climaticas da região tropical, principalmente as elevadas precipitações, favorecem o processo de dissolução dos fosfatos naturais e criam condições favoraveis ao desenvolvimento das bacterias responsaveis por processos de oxidação (SWABY, 1975).

Os aspectos microbiológicos da dissolução dos fosfatos naturais tem sido pouco estudados em nossas condições, sendo que alguns trabalhos referem-se a utilização de compostos orgânicos como fontes de energia. Considerando as reservas brasileiras de fosfatos naturais estimadas em dois bilhoes de toneladas, a deficiência generalizada de fósforo em nossos solos e o custo elevado

dos fertilizantes fosfatados solúveis, é de extrema importancia estudar alternativas para utilização de fosfatos naturais com um minimo de processamento industrial.

Na literatura são encontrados alguns estudos sobre os fatores que influenciam a solubilização biológica de fosfatos naturais por microorganismos heterotroficos do solo.

CARVALHO *et alii* (1969) estudaram a influencia da relação C/N na solubilização da apatita de araxa pela microflora do solo, verificando que, na ausência de microorganismos e/ou matéria orgânica, não houve solubilização e que relações C/N mais largas foram mais eficientes do que as estreitas.

Em outros relatos, EIRA e CARVALHO (1971), mostraram a influência do tipo de matéria orgânica como fator de solubilização de fosfatos naturais no solo, bem como a influência da decomposição de algumas fontes de matéria orgânica na evolução do pH de um solo do grande grupo LVA, fase arenosa.

PAREEK e GAUR (1973) e CARVALHO *et alii* (1977) observaram que a aplicação de matéria orgânica, favoreceu a solubilização biológica de um fosfato natural, diminuindo sua fixação pelo ferro e alumínio.

## 2.6. MICROBIOLOGIA DA RIZOSFERA

A rizosfera é um meio ambiente unico, que esta abaixo da influência das raízes das plantas. As cifras microbianas são maiores nesta região onde as interações bioquímicas entre os microorganismos e as raízes são mais pronunciadas..

Esta preferencia deve-se ao fato das plantas exudarem pela zona de crescimento das raízes substâncias nutritivas constituídas essencialmente por açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, enzimas, vitaminas, etc., que são utilizados pelos microorganismos do solo.

GRAY e WILLIAMS (1975), verificaram significativas variações no número de microorganismos por grama de solo dentro e fora da rizosfera de raízes de trigo, observando uma população de actinomicetos, fungos, protozoários, algas e bacterias, de 7, 0,1, 0,001, 0,027 e 53 x 10<sup>-6</sup>, respectivamente fora da rizosfera, em comparação as 46, 12, 0,0024, 0,005 e 1200 x 10<sup>-6</sup>, respectivamente na rizosfera.



Microorganismos concentrados na rizosfera exercem influencia na absorção de nutrientes inorgânicos pelas plantas. Estes efeitos foram verificados por BARBER (1973), que comparou a retirada de nutrientes pelas plantas em crescimento na presença e ausencia de microorganismos em cultura liquida e no solo.

A disponibilidade de fósforo apresenta influência direta pelos organismos microscopicos da rizosfera e, a causa que os cultivos requerem de quantidades apreciaveis as alterações na concentração do fósforo assimilavel são significativas. Uma alta porcentagem de bacterias da rizosfera é capaz de degradar substratos orgânicos de fósforo e as cifras totais destes heterotrofos aumenta similarmemente na vizinhança de raizes metabolicamente ativas (GREAVES e WEBLEY, 1965).

A mineralização do fósforo pode ser mais rápida deste modo, a quantidade de fósforo inorgânico que se libera esta relacionada as taxas relativas de mineralização e imobilização. A causa da abundância de bactérias associadas com o sistema radicular reflete na maior taxa de imobilização do fósforo pelos microorganismos (ALEXANDER, 1980).

Outra transformação do fósforo de grande importância agrícola é a solubilização, de compostos insolúveis que contem fosfato. As bactérias associadas com o sistema radicular podem servir de ajuda, quando se põem a disposição várias substâncias que são pouco solúveis.

Uma comparação entre rendimentos de plantas que crescem em ambiente esteril e não esteril com fontes de fosfato insolúvel, revela que a resposta aos compostos químicos é maior onde os microorganismos estão ativos (ALEXANDER, 1980).

Ao se analisar a distribuição de microorganismos no solo, verifica-se sua maior densidade em torno das raízes. Esta distribuição característica ocorre, segundo MACHADO *et alii* (1985), em decorrência da presença de exsudatos das raízes e resíduos vegetais depositados espontaneamente nesta região. Estes exsudatos, além de suprir as exigências nutricionais dos microorganismos, promovem uma seleção de espécies microbianas, segundo a qualidade e quantidade de resíduos depositados no solo.

GERRETSEN (1948), observou solubilização de fosfatos inorgânicos a nível de rizosfera, constatando zonas de solubilização desses minerais em torno das raízes.

Os microorganismos solubilizadores, segundo SWABY e SPERBER (1959), também são benéficos pelo habitat da rizosfera, pois chegam a constituir de 20 a 40% da população total no solo da rizosfera, contra apenas 10 a 15% da população microbiana do solo distante da rizosfera.

BERENOVA (1965), constatou a existência de 2,6 a 3,9 milhões de bactérias por grama de solo que solubilizam  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  e mineralizam compostos orgânicos fosfatados no solo em geral, contra 21,9 a 27,4 milhões por grama de solo na região da rizosfera.

ROSA (1982) estudando a densidade de microorganismos solubilizadores de fosfato dicalcico em solo de rizosfera de algumas leguminosas forrageiras, observou que nas profundidades de 5, 10, 20, e 30 cm a densidade mantinha-se em torno de  $10^5$  a  $10^6$  células por grama de solo seco em todas as espécies de leguminosas.

Em função das influências que sofrem os microbios do solo, quantitativamente e qualitativamente pela presença de raízes vegetais e do crescimento dos estudos sobre solubilização microbiana de fosfatos utilizando-se compostos orgânicos, considerações devem ser feitas sobre os fatores responsáveis pelo efeito da rizosfera, como a deposição de resíduos celulares das raízes, a liberação pelas raízes de compostos orgânicos solúveis, a mais alta concentração de  $\text{CO}_2$ , a mais baixa concentração de oxigênio e de íons nutritivos, bem como a dessecação parcial do solo devida a absorção de água pelas raízes (CORREIA, 1986).

Esta interação, RAIZ-MICROORGANISMO é altamente benéfica no solo visto que a planta ao exsudar nutrientes, alimentando a população microbiana, estes beneficiam as plantas transformando alguns nutrientes essenciais em formas disponíveis e facilitando a absorção.

## 2.7. SOLUBILIZAÇÃO MICROBIANA DE FOSFATOS NATURAIS

Os compostos inorgânicos insolúveis de fósforo não estão totalmente disponíveis para os vegetais, sendo que muitos microorganismos podem solubilizar o fosfato no solo. Esta propriedade, aparentemente, não é rara, visto que um décimo a metade dos isolamentos bacterianos testados, geralmente são capazes de solubilizar fosfatos insolúveis, com a contagem podendo variar de  $10^5$  a  $10^7$  por grama de solo (RAGHU e Mc.RAE, 1966).

Segundo ALEXANDER (1980), as espécies mais ativas na conversão de formas insolúveis de fósforo para formas solúveis são: Pseudomonas, Mycobacterium, Micrococcus, Bacillus, Flavobacterium, Penicillium, Sclerotium, Fusarium e Aspergillus. Estes grupos de fungos e bactérias crescem em meio com  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , apatita ou materiais insolúveis semelhantes. Os microorganismos do solo assimilam o elemento, sendo também capazes de solubilizar uma grande porção.

O principal mecanismo microbiológico pelo qual os compostos insolúveis de fósforo são mobilizados é pela produção de ácidos orgânicos (ALEXANDER, 1980).

No caso especial dos microorganismos quimioautotróficos oxidantes de amônia e enxofre, são produzidos ácidos inorgânicos como o nítrico e o sulfúrico, como agentes de solubilização. Os ácidos inorgânicos e orgânicos convertem o  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  a fosfatos di e monobásicos, resultando em um aumento da disponibilidade do elemento para as plantas. A quantidade solubilizada pelos heterotróficos varia com o carboidrato oxidado e geralmente a transformação no solo se efetiva se o substrato carbonado é convertido em ácidos orgânicos (ALEXANDER, 1980).

Os ácidos nítrico e sulfúrico produzidos durante a oxidação dos materiais e compostos inorgânicos de enxofre, se reacionam com o fosfato mineral, liberando fósforo solúvel ao solo. A oxidação do enxofre elementar é um meio simples e efetivo, com os Thiobacillus liberando ácido sulfúrico, havendo um incremento na acidez do meio e liberação de fósforo solúvel (ALEXANDER, 1980).

Ainda que a solubilização do fósforo requer comumente da produção de ácidos, se pode dispor de outros mecanismos de mobilização, como por exemplo em solos inundados, se pode reduzir o ferro de fosfatos ferrícos, processo que resulta na formação de ferro solúvel com liberação paralela de fosfato na solução (PATRICK et alii, 1973).

Este aumento na disponibilidade de fósforo pode explicar porque o arroz cultivado em solos alagados requer uma menor quantidade de fertilizante fosfatado, em relação ao mesmo cultivo em solo seco.

O fósforo pode estar mais disponível para assimilação das plantas pela ação de certas bacterias que liberam acido sulfurico, produto que reaciona com fosfato férrico para produzir sulfuro ferroso e liberar fosfato solúvel (SPERBER, 1958).

Os efeitos da adição de matéria orgânica como indutores de solubilização de fósforo, foram interpretados inicialmente como resultante da formação de complexos de alumínio e ferro, por certos ácidos orgânicos presentes durante a humificação. Porem hoje se admite que a solubilização resulta da ativação da microflora pela adição

de matéria orgânica (CASIDA, 1959; DALTON et alii 1952; EIRA e CARVALHO, 1971; DOMMERGUES, 1970).

O efeito da matéria orgânica esta na dependencia da variação do pH, da relação C/N, da qualidade da matéria orgânica, do tipo de fosfato e de muitos outros fatores (ALEXANDER, 1980; BRADDLEY e SIELING, 1953; CARVALHO et alii 1969; EIRA e CARVALHO, 1971; DOMMERGUES, 1970; TARDIEUX e ROCHE 1966).

Estudos sobre os processos de intemperismo das rochas por microorganismos são evidenciados, com ZYKINA (1980), observando a participação do Aspergillus niger nesses processos, onde constatou que formas livres de ferro e aluminio são complexadas por ácidos orgânicos.

Em função de que a solubilização do fósforo se faz ordinariamente pela formação e produção de ácidos orgânicos pelos microorganismos CARVALHO et alii (1969), observou que todas as linhagens de Aspergillus e Pennicillium demonstravam alta capacidade de solubilização de fosfatos insolúveis em condições de laboratorio, com o Aspergillus niger sendo o mais eficiente.



De acordo com AHMAD e JHA (1968), no processo de solubilização, ocorre a precipitação da hidroxiapatita e a dissolução do fosfato de rocha se origina pela ação de bacterias gram negativas e positivas, por fungos do genero Aspergillus, Pennicillium e Rhizopus e por Actinomicetos do genero Nocardia e Micromonospora. As bacterias excedem em número aos fungos e actinomicetos, no entanto os fungos formam o grupo de microorganismos com maior capacidade de solubilização de fosfatos.

O solo contem consideraveis reservas de fósforo orgânico e mineral, no entanto são formas não prontamente absorvidas pelas plantas. Microorganismos do solo são extremamente importantes na liberação de varias formas de fósforo, com os fungos e actinomicetos possuindo extrema habilidade de atacar a celulose, assimilando formas insolúveis de fósforo e liberando ao solo posteriormente fósforo prontamente disponível para as plantas (NAPLEKOVA, 1967).

KATZNELSON et alii (1962), estudou a dissolução de fosfatos por microorganismos em sementes e na região da rizosfera, constatando grande habilidade no processo de solubilização em ambos os estudos.

A solubilização do fosfato no solo está relacionada diretamente com a produção de ácidos orgânicos por microorganismos do solo, destacando como os mais ativos o ácido láctico, glicólico, cítrico e succínico (SPERBER, 1958).

Estudos de solubilização de fósforo foram desenvolvidos em solos deserticos por VENKATESWARLU (1984), o qual constatou ser grande a população microbiana nesses solos, com predominância de Bacillus cerus, Pseudomonas fluorescens, Pennicillium pinophilum e Aspergillus niger no processo de solubilização microbiana de fosfatos. Constatou também que os fungos são mais eficientes que as bacterias na solubilização do fósforo, e que este processo esta relacionado com a produção de ácidos orgânicos.

CARVALHO et alii (1977), em experimento desenvolvido sobre a biotransformação da apatita de araxá, com um solo suplementado com diferentes fontes de carbono, observou que as adições de sacarose, composto orgânico e fosfato natural, aumentava significativamente o nível de fósforo na solução edáfica, sugerindo para tanto um processo de mobilização microbiana.

Estudos com fertilização biológica a partir de fosfobacterias foram desenvolvidos por GONZALES-EGUIARTE E BAREA (1975), onde constatou que o processo se torna mais efetivo quando se adiciona ao solo materia orgânica fresca.

O processo de bacterização de sementes e raízes como método de fertilização biológica é um tema científico bastante discutido e polemico. Concretamente, as bacterias solubilizadoras de fosfato "fosfobacterias" são inoculadas ao solo, em função de que podem fornecer quantidade extra de fósforo aos vegetais, degradando formas de fosfato insolúveis (BAREA, 1976; GREAVES e WILSON, 1970).

MICHOUSTINE (1972), pesquisando sobre processos microbiológicos que mobilizam compostos de ferro no solo "in vitro", constatou uma solubilização de 85 a 92% do  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  por fungos do gênero Aspergillus niger, Fusarium ovenaceum e Alternaria sp., com consequente acidificação do meio, que passou de um pH 7,2 para 2,1 a 4,9. As bacterias chegaram a solubilizar 61,7% do  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  com o Bacillus megaterium sendo o mais eficiente e que alterou o pH do meio de 7,2 para 4,2.

Muitas reportagens e estudos de solubilização de fosfatos em cultura líquida e solo são sugeridas pela produção de ácidos orgânicos pelos microorganismos, que promovem a dissolução do fosfato (BAJPAI e SUNDARA-RAO, 1971).

SPERBER (1958); LOW e WEBLEY (1959) e DUFF et alii (1963), estudaram a produção de ácidos orgânicos em meio de cultura dissolvendo fósforo por alguns microorganismos. Observaram a produção de ácido láctico e 2-cetogluconico.

Segundo HARRISON et alii (1972) os microorganismos do solo são altamente eficientes em relação a capacidade de solubilizar  $\text{Fe}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2$  e  $\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$ , estando esta solubilização associada ao metabolismo de carboidratos e crescimento em meio aeróbico. Os carboidratos são adicionados ao sistema estimulando a solubilização do fósforo. Esta solubilização é atribuída a formação de ácidos orgânicos, que funcionam como agentes quelantes, liberando ions fosfato ao solo.

Por ocasião da solubilização de fosfatos inorgânicos, os microorganismos produzem uma zona clara ao redor das colônias, que crescem em meio de agar impregnados com

precipitados de fosfato insolúvel, demonstrando o efeito solubilizador. HARRISON et alii (1972) constatou que as formas mais facilmente atacadas pelos microorganismos do solo, são pela ordem:  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{FePO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$  e  $\text{Al}(\text{PO}_4)$ .

A taxa de solubilização aumenta quando se adiciona uma maior quantidade de material energético disponível aos microorganismos, resultando numa maior produção de ácidos orgânicos.

O efeito do Bacillus polymyxa foi estudado na presença de fosfato de rocha por GAUR e OSTWAL (1972), o qual concluiu que o efeito desta interação é muito semelhante, quando se utilizou um superfosfato triplo na produção de trigo (Triticum aestivum L.) com teores relativamente iguais de fósforo nos grãos e palhas da planta teste. O autor cita ainda que a fertilização bacteriana é muito empregada para se obter estes efeitos na União Soviética.

MYSKOW (1961) realizou pesquisas sobre solubilização de fósforo com determinadas bactérias, verificando alta

dissolução de formas de fosfato insolúvel, prontamente disponível para as plantas.

Os primeiros estudos sobre solubilização de fósforo no solo foram desenvolvidos por SACKETT et alii (1908), onde verificou atividade microbiana em laboratório. Ficou demonstrado na época que os microorganismos do solo dissolvem o fosfato tricalcico, fosfato bicalcico e o carbonato de calcio, sendo observada a formação de uma zona clara ao redor das colônias em meio de cultura contendo estas substâncias.

LOUW e WEBLEY (1959), constataram que certos grupos de bacterias foram capazes de solubilizar 51,25% do fosfato dicalcico adicionado ao solo, 49,4% do fosfato tricalcico e 5,91% do fosfato de rocha gafsa.

SPERBER (1958), evidenciou a existencia de organismos solubilizadores de fosfato na região da rizosfera do solo, sendo gêneros comuns de fungos e bacterias, que liberavam quantidades significativas de ácidos orgânicos ao solo.

A solubilização de formas de fósforo insolúveis no solo por microorganismos é um fato já comprovado no mundo inteiro, devendo novas pesquisas serem realizadas em diferentes tipos de solo e condições climáticas para maior extrapolação dos resultados e sedimentação como sendo uma alternativa razoável, quando se busca economia das reservas de fósforo disponíveis.

## 2.8. SOLUBILIZAÇÃO MICROBIANA DE FOSFATOS ORGÂNICOS

O fósforo orgânico do solo é significativamente importante, quando se considera ser a maior reserva para promover fósforo solúvel para as plantas (DAUGHTREY et alii, 1973; ENWEZOR, 1966).

A mineralização do fósforo orgânico, principalmente por fenômenos microbianos, é influenciada por diferentes fatores como a temperatura, umidade, reações do solo e o suprimento de energia dos materiais orgânicos. A matéria orgânica do solo é importante fonte de material energético para a população microbiana do solo. A mineralização do fósforo orgânico depende fundamentalmente da quantidade e do tipo do conteúdo de fósforo orgânico na matéria orgânica e a sua relação com a demanda microbiana (ALEXANDER, 1980).

ENWEZOR (1966), sugere que durante a decomposição de resíduos de plantas no solo, a mineralização inicial do fósforo orgânico ocorre quando a relação C:P é próxima a 200, com o processo de imobilização sendo mais acentuado quando esta relação excede a 300.



A adição de carboidratos ao solo, induz a um aumento na densidade de microorganismos no solo, segundo MACHADO et alii (1985).

CAMARGO (1954) conseguiu aumentar a população microbiana no solo pela adição de vinhaça, todavia não encontrou na literatura referências à promoção de crescimento de bacterias na região da rizosfera, com capacidade de solubilizar fosfato através da incorporação de vinhaça.

ALEXANDER (1980) cita que a adição de matéria orgânica como fonte de carboidratos para os microorganismos do solo não apresenta efeito na população desses na região da rizosfera.

A presença no solo de um grande depósito de fósforo orgânico, que não pode ser utilizado pelas plantas, enfatiza o papel dos microorganismos em converter este fósforo orgânico a formas inorgânicas. Pela ação combinada de microorganismos do solo, o fósforo contido nos restos de vegetação e na matéria orgânica do solo se transforma em elemento aproveitável para as plantas.

A mineralização é geralmente mais rápida em solos virgens que em solos cultivados. A decomposição também se vê favorecida por temperaturas elevadas, com os microorganismos termofílicos sendo mais favoráveis que os mesofílicos. A velocidade de mineralização também se eleva ao ajustar o pH a valores que conduzam a um metabolismo microbiano geral e uma alteração da acidez a neutralidade incrementa a liberação, de fosfatos. A taxa de mineralização está relacionada diretamente com a quantidade de substrato, assim os solos ricos em fósforo orgânico serão os mais ativos. A degradação não é inibida pelo fósforo inorgânico, por que a mineralização se efetua rapidamente em sítios com suficiente fosfato (DAUGHTREY et alii 1973).

Como é de se esperar, a assimilação de fósforo pelas plantas está relacionada diretamente com a taxa de mineralização (SEKHON e BLACK, 1968).

As enzimas que separam o fósforo dos substratos orgânicos encontrados com maior frequência são chamadas fosfatases, que podem catalizar a ruptura do fosfato de etila, glicerofosfato e fosfato de fenila. Por outro lado moléculas conhecidas como diésteres em contraste com monoésteres podem requerer diferentes enzimas para suas rupturas (ALEXANDER, 1980).

As fosfatases que atuam sobre os fosfolípidios e hidrolizam ácidos nucleicos, tem diesterases em suas estruturas. As enzimas que catalizam a hidrólise dos monoésteres tem frequentemente diferentes valores ótimos de pH, designando-se de fosfatases ácidas e alcalinas (ALEXANDER, 1980).

GREVES e WEBLEY, (1965), evidenciaram que 72% dos microorganismos do solo degradam a fenoftaleína difosfato, 30% a fitina, 15% a lecitina e 24% o glicerofosfato.

A enzima fitase libera fosfato a partir de ácido fitico e seus sais de cálcio-magnésio-fitina, com acumulação de inositol. A enzima atua sobre o hexa-fosfato extraído fósforo, provavelmente de um em um para produzir penta, tetra, tri, di e monofosfatos, e finalmente inositol livre. Alguns microorganismos fracionam unicamente os penta e tetra-fosfatos e não os hexa-fosfatos (COSGROVE et alii, 1970), e as enzimas que se formam diferem também, visto que algumas espécies formam fitases intracelular, enquanto que outras excretam um catalizador extracelular.

Algumas fitases são específicas e atuam principalmente sobre fosfatos de inositol, outras no entanto

não são fosfatases específicas e extraem o fósforo de compostos orgânicos diferentes (ALEXANDER, 1980).

A atividade da fitase está amplamente distribuída, sendo que aproximadamente de 30 a 50% dos microorganismos do solo sintetizam esta enzima, com a sua atividade na natureza aumentando com materiais carbonados. As espécies de Aspergillus, Penicillium, Rhizopus, Cunninghamella, Arthrobacter, Streptomyces, Pseudomonas e Bacillus, podem sintetizar a enzima (ALEXANDER, 1980).

Os ácidos nucleicos puros agregados ao solo são rapidamente desfosforilados. Um grande número de heterotrofos distintos podem na realidade desenvolver-se em meios que contenham nucleotídeos como única fonte de carbono, nitrogênio e fósforo. A mineralização é afetada pelo pH e a velocidade diminui conforme acidez se eleva. A transformação se efetua por uma despolimerização inicial do ARN pela ribonuclease e do ADN pela deoxirribonuclease e uma ruptura subsequente do fosfato a partir dos produtos gerados pelas enzimas despolimerizantes. Devido provavelmente a que a maior parte do fósforo nas células microbianas está na forma de ARN e ADN, ocorre a liberação com maior frequência em determinados organismos, com o processo sendo mais lento noutras (MILLS e ALEXANDER, 1974).

As bactérias, fungos e actinomicetos são capazes de utilizar fosfolípidios como fonte de fósforo. A lecitina é o substrato comum para avaliar tais ações. No processo, o fosfato é separado dos compostos orgânicos e assimilado pelos microorganismos. À medida que a liberação do fósforo excede a demanda heterotrófica, parte deste estará disponível para assimilação vegetal (ALEXANDER, 1980).

A atividade enzimática é usualmente alta e se vê afetada pela estação do ano, profundidade e tipo de vegetação, com a hidrólise ocorrendo em pH baixo e alto, indicando a presença de fosfatases ácidas e alcalinas (ALEXANDER, 1980).

O crescimento microbiano requer a presença de formas de fósforo aproveitável, devido que o elemento é essencial para a síntese celular e o desenvolvimento da microflora está relacionado a distribuição de compostos de fósforo utilizável no habitat. Em ambientes que o fósforo é limitado, sua adição estimulará as atividades microbianas (ALEXANDER, 1980).

Em geral, os tratamentos com fosfato tem pouco efeito na microflora, já que os habitats microscópicos parecem ser

altamente eficientes em mobilizar grandes reservas naturais desse elemento (ALEXANDER, 1980).

A assimilação de fósforo de ácidos nucleico microbianos, fosfolípidios e outras substâncias protoplasmáticas originam a acumulação de formas não utilizáveis do elemento. Para tanto, durante a decomposição da matéria orgânica agregada ao solo, o incremento da atividade microbiana estabelece uma grande demanda de suprimento de fosfato. Consequentemente, se os resíduos carbonados são deficientes em fósforo, a assimilação microbiana do fosfato disponível pode diminuir o rendimento dos cultivos (ALEXANDER, 1980).

Se pode obter uma indicação da utilização microbiana do fosfato comparando o crescimento e composição química das plantas que crescem na presença e na ausência de microorganismos. Assim, quando se semeia determinada cultura em amostras de solo esteril com um nível baixo de fosfato disponível, a produção e conteúdo de fósforo nas plantas é menor nos solos não estereis. Isto sugere competição microbiana no solo pelo substrato. Se a concentração de fósforo excede a requerida para nutrição microbiana, o excesso aparece como fósforo inorgânico e se é inadequado para a microflora ocorre a mineralização (BARBER, 1973).

PEPPER et alii (1976), evidenciou que atividade microbiana do solo é responsável pela acumulação de polifosfatos inorgânicos ao solo, sendo esta atrativa, pois a síntese microbiana de polifosfatos inorgânicos no solo, são reações significativas no ciclo do fósforo, e que funcionam providencialmente promovendo a liberação de formas de fósforo aproveitável para as plantas em solos pobres. Esta reação demonstra os efeitos benéficos da adição e manutenção de resíduos orgânicos ao solo, que promoveram a liberação de formas de fósforo prontamente assimiláveis pelas plantas.

Para se ter sucesso no plantio de culturas, o solo deverá ser suplementado com fósforo, visando eliminar a competição entre microorganismos e plantas (BENIANS e BARBER 1974).

O uso de culturas intensivas reduz os teores de fosfato de inositol no solo, embora em menor extensão que outros componentes orgânicos de fósforo. Os cultivos causam apreciáveis perdas na matéria orgânica, devido a retirada pelas plantas, que em termos médios reduz os níveis de nitrogênio, fosfato total e fosfato de inositol em 50,36 e 19%, respectivamente (MARTIN, 1973).

GREAVES e WILSON (1970), estudaram a degradação de ácidos nucleicos por microorganismos do solo, observando que este ácido é rapidamente degradado produzindo orthofosfato inorgânico.

Os processos de degradação do fósforo orgânico por microorganismos do solo na região da rizosfera em certos pastos de gramíneas foram constatado por GREAVES e WEBLEY (1965), avaliando a fenoftaleína difosfato, glicerofosfato de sódio, fitato de sódio, lecitina, ácido ribonucleico e ácido deoxiribonucleico, concluindo ser muito grande o número de micrroorganismos que degradam estes compostos orgânicos nos solos.

Os microorganismos tem participação ativa no ciclo do fósforo. Em razão de seu metabolismo, podem atuar sobre o fósforo orgânico, liberando formas de fósforo aproveitável pelas plantas, pelo processo conhecido por mobilização. Por outro lado, podem imobilizar o fosfato disponível da solução do solo, formando compostos orgânicos e incorporando ao seu próprio organismo (ALEXANDER, 1964; DOMMERGUES, 1970; TARDIEUX-ROCHE 1966). Este processo de fixação biológica é extremamente importante, pelo fato de que a maior parte do fósforo não trocável no solo se encontrar na forma orgânica.



SEKHON e BLACK (1968), constataram que o fósforo utilizado pelas plantas, principalmente em determinados tipos de solos, era oriundo de formas orgânicas mineralizadas por microorganismos do solo.

NAPLEKOVA (1967), observou que muitos fungos e actinomicetos excretavam a enzima fosfatase no processo de mineralização do fósforo orgânico.

GORING (1955), pesquisando sobre os fatores que interferiam na síntese de fósforo no solo, correlacionando com as transformações biológicas, observou variações na síntese do fósforo orgânico em relação ao período de incubação, temperatura e umidade.

KAILA (1949), cita que no fenômeno de decomposição da matéria orgânica, os microorganismos assimilam grandes quantidades de fósforo presentes nestes materiais, com CHANG (1940) constatando também que durante a decomposição da matéria orgânica, fósforo inorgânico do solo era assimilado pelos organismos e transformado para formas orgânicas.

O suprimento de nutrientes das plantas, pela ciclagem de minerais, é uma das atividades mais significativas dos microorganismos no solo. LYNCH (1986), diz que a aplicação dos princípios do crescimento microbiano a esses processos poderia auxiliar na compreensão da dinâmica dos processos, de maneira que eles pudessem ser manipulados.

## 2.9. PARAMETROS DE AVALIAÇÃO DA POPULAÇÃO MICROBIANA DO SOLO.

O interesse nos estudos em microbiologia do solo, ganhou impulso no final do século 20, sendo introduzidas na época muitas técnicas de isolamento, que segundo WALKSMAN (1963), identificavam e enumeravam estes importantes agentes.

Estas primeiras identificações eram efetuadas com o uso de métodos desenvolvidos a partir da bacteriologia médica, com as amostras de solo, diluídas em água destilada, dissimuladas em placa com gelatina e, após incubação, o número de bactérias era determinado.

WARCUP (1950), introduziu a técnica de plaqueamento para o isolamento de fungos, com esta favorecendo um rápido crescimento de fungos, normalmente presentes em pequeno número no solo.

A técnica do número mais provável (NMP), foi desenvolvida por POCHON e TARDIEUX (1962), com o objetivo de determinação do número total de bactérias do solo, ou enumeração de grupos específicos de microorganismos.

Após estas definições, WALKSMANN (1963) evidenciava que a microflora de um solo era constituída essencialmente por bactérias, actinomicetos e fungos. As bactérias predominavam em número, bem como na variedade de atividades que desenvolviam.

BURGUES (1971), quantificou a micropopulação de um solo agrícola fértil em número de organismos por grama de solo, como sendo a seguinte:  $25 \times 10^8$  bactérias por contagem direta e  $15 \times 10^6$  por contagem indireta; actinomicetos  $7 \times 10^5$ ; fungos  $4 \times 10^5$ ; algas  $5 \times 10^4$  e protozoários  $3 \times 10^4$ .

O número total de microorganismos de um solo (ou a sua biomassa) é muitas vezes tomado como atividade global da microflora do solo. Isto não é muito correto dado que nem todas as células vivas tem atividades iguais, havendo muitas em estado de vida latente. No entanto, populações microbianas grandes indicam a ocorrência de condições

favoráveis para o desenvolvimento e /ou sobrevivência (GALHARDO, 1973).

Deve-se reconhecer que, em todos os procedimentos de isolamento, os microorganismos são coletados de condições naturais e colocados em condições artificiais. Este procedimento pode afetar sua forma, induzir dominância, ou mesmo matá-los. Todas as técnicas utilizadas são seletivas, com o crescimento de fungos em agar sendo altamente seletivo para as formas que esporulam, com as contagens em placa fazendo estimativas de apenas cerca de 1 a 50% da contagem total (LYNCH, 1986).

A manutenção e a produtividade de ecossistemas e de muitos agrossistemas dependem, em grande parte, do processo de decomposição da matéria orgânica do solo, realizada pelos microorganismos, e da consequente mineralização dos nutrientes (GRISI e GRAY, 1986). Neste aspecto a biomassa microbiana do solo funciona como importante reservatório de vários nutrientes essenciais às plantas.

A estimativa da biomassa microbiana fornece dados úteis sobre mudanças nas propriedades biológicas do solo, decorrente de práticas agrícolas, tais como: manejo de solo,

efeito de fertilizantes e biocidas em geral. Além disso, a determinação da biomassa permite avaliar as mudanças edáficas de maneira mais rápida do que as desejadas em análises químicas do solo (GRISI e GRAY, 1986).

Normalmente a biomassa é expressa em número de organismos por unidade de peso de terra. Por vezes determina-se por unidade de peso de matéria orgânica ou de carbono orgânico. Como a maioria da microflora é heterotrófica, um número elevado de organismos por unidade de peso de matéria orgânica pode indicar que há um suplemento de nutrientes e de energia disponíveis (GALHARDO, 1973).

JENKINSON e LADD (1981), consideram haver quatro métodos atualmente disponíveis para medir biomassa microbiana do solo: fumigação com cloroformio; taxa (inicial máxima) de respiração em resposta à adição de glicose; conteúdo de ATP; biovolume por observação direta em microscópio.

Alterações no número de células são determinadas por contagem direta ou contagem de células viáveis em diluição

em placa ou utilizando a técnica do número mais provável (NMP) (WAID, 1984).

GRISI e GRAY (1985), observaram que o método direto com o uso de microscopia de fluorescência é mais indicado em relação ao de fumigação para determinação da biomassa microbiana em solos ácidos, evidenciando a possibilidade de falhas deste último.

A biomassa de respiração em resposta a adição de glicose, apresenta significativa correlação com a biomassa de fumigação, demonstrando ser esta técnica muito útil para estimar biomassa em grande variedade de solos, incluindo aqueles com pH baixo (GRISI e GRAY, 1986).

No Brasil os estudos de microbiologia de solo, principalmente onde se estabelecem cultivos de importância econômica e em sistemas ecológicos naturais, são esporádicos, com a maioria das investigações apenas estimando a atividade de determinados grupos de microorganismos (PRIMAVESI, 1970; COUTINHO e LAMBERTI, 1971; DROZDOWICZ, 1977; SANTOS, 1977 e 1979; FREITAS *et alii*, 1979; SINGER e ARAUJO, 1979; citados por GRISI, 1984).

Algumas análises de biomassa microbiana do solo estão sendo desenvolvidas, usando o método de fumigação (SAMPAIO e SALCEDO, 1982; GERRI *et alii*, 1983).

Segundo GRISI (1984) é evidente a carência de estudos que avaliem a participação dos microorganismos nos processos de fertilização natural de solos mineralogicamente pobres, havendo uma enorme lacuna, principalmente no que diz respeito as pesquisas em biologia da transformação da matéria orgânica no solo e as estimativas de biomassa e atividade dos organismos do solo em diferentes condições ecológicas, nos inumeros agrossistemas e ecossistemas do Brasil.



## 2.10. USO DE LODO DE ESGOTO E COMPOSTO DE LIXO URBANO NA AGRICULTURA.

O lodo é um resíduo sólido do tratamento dos esgotos, proveniente de tratamento primário (onde os sólidos se separam do líquido por gravidade), do tratamento secundário (onde os sólidos são separados após a ação biológica do tratamento) e do tratamento terciário ou avançado.

Do processo resulta uma lama líquida com teor de sólidos da ordem de 2 a 5%, de conteúdo predominantemente orgânico.

O lodo digerido tem sido amplamente utilizado no mundo, no sentido de recuperação de solos degradados, fortalecendo o desenvolvimento de micro e macroorganismos úteis à agricultura, melhorando os caracteres físicos, químicos e biológicos necessários ao crescimento vegetal (SANTOS, 1982).

De modo geral o lodo de esgoto traz os seguintes benefícios ao solo: maior capacidade de retenção de umidade, formação de uma camada protetora que reduz ou elimina a erosão pelo vento e pela chuva, melhoria da estrutura do solo quanto as condições de aeração pelo aumento do volume de vazios, redução das perdas de nutrientes pela maior dificuldade no escoamento superficial, condições favoráveis para a proliferação de micro e macroorganismos desejáveis à agricultura, etc. (SANTOS, 1982).

Dados tem indicado que os lodos de origem predominantemente doméstico com ligeira contribuição industrial, podem ser aplicados aos solos por vários anos, a taxa de 10 a 20 ton./ha/ano, sem causar concentrações de elementos traços incomuns aos solos em geral, como zinco, cobre, níquel, cádmio, boro e chumbo (KIRKHAM, 1982).

Em síntese, quaisquer culturas de grãos e frutas que não entram em contato direto com o solo, e portanto com o lodo aplicado, podem ser consideradas adequadas, sob o ponto de vista de segurança sanitária. Neste sentido culturas destinadas para consumo cru, não devem ser plantadas em terrenos que receberam lodo de esgoto.

A cultura do milho apresenta tolerância moderada a ions metalicos tóxicos, sendo exelente indicadora de deficiência de ions metálicos necessários. A aplicação de lodo digerido desidratado ao milho, tem resultado em taxas de crescimento notáveis, quando comparável a cultura teste (SANTOS, 1982 ).

Culturas como arroz, trigo, soja, repolho e frutas citricas, apresentam bom desempenho quando cultivadas em solos que receberam lodo de esgoto (SANTOS, 1982).

O tratamento de esgotos vem sendo executado em muitos outros paises, com a finalidade de evitar lançamento nos cursos de agua de grandes quantidades de solidos altamente poluidores (ANDA, 1975). Nesse tratamento, é produzido grandes porções de lodo de esgoto. Entre as alternativas de sua disposição final existentes (descargas em rios, oceanos e lagoas, incineração, aterros sanitarios, produção de agregado leve, produção de fertilizante organo-mineral e compostagem para uso agricola), a utilização como fertilizante e/ou condicionador de solos agricolas é recomendado pelo EUA e paises Europeus, visto que o material é rico em matéria orgânica e possui consideraveis concentrações de macro e microelementos (EPSTEIN, 1975; MOREL, 1978; CARVALHO e BARRAL, 1981).

BETTIOL *et al* (1983), cita que a aplicação de lodo de esgoto nos solos agricultáveis é técnica há muito empregada em vários países, pois além de fornecer nutrientes as plantas, melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas.

Atualmente no Brasil, em função do crescimento das unidades de tratamento de esgotos, que originam grandes quantidades de resíduos sólidos, deve-se criar alternativas de uso desses resíduos e que respeitem as normas de higiene pública, não polua o ambiente e seja economicamente aceitável.

O CEFER - Centro de Estudos de Fertilizantes / IPT desenvolveu um processo de complementação desse lodo com fertilizantes químicos, denominados organo-mineral IPT, viabilizando sua utilização na agricultura.

Entre vários aspectos a serem considerados e pesquisados, com o objetivo de utilização de lodo de esgoto na agricultura, destaca-se: o aspecto sanitário; presença de metais pesados; efeito sobre propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; metabolismo; desenvolvimento e produção de plantas; outros.

Com relação a metais pesados, pode-se constituir num problema sério. Varias são as alternativas e nos casos extremos, quando o teor for muito elevado, o lodo de esgoto podera ser destinado a produção de agregado leve, não utilizavel na agricultura. Quando houver predominancia de esgotos domesticos sobre os industriais, o teor de metais pesados deverá estar dentro dos limites aceitos, destacando que no Brasil ainda não foram fixados estes limites, como tambem não existe legislação sobre o assunto. Até que haja uma definição, podem ser utilizados os limites já estabelecidos em outros países (BETTIOL *et alii*, 1983).

Estudos sobre a utilização de lodo de esgoto como fertilizante na cultura do milho foram desenvolvidos por BETTIOL *et alii* (1983), onde evidenciou atraves dos resultados, que o lodo de esgoto pode ser utilizado como fonte de nutrientes nesta cultura, constatando que não houve diferença significativa, quando comparou os tratamentos que receberam lodo de esgoto e o que recebeu fertilização mineral recomendada. Resultados semelhantes foram obtidos por BETTIOL *et alii* (1982), utilizando o lodo de esgoto na cultura do arroz (Oryza sativa L.)

Apesar dos resultados favoraveis aqui demonstrados, YEUDOKIMOVA (1980), estudando efeitos poluidores de solos

por metais pesados, concluiu que os microorganismos do solo exercem uma força sobre as mudanças em solos poluídos por metais pesados e compostos sulfurosos. Observou que o número de bactérias saprofíticas e actinomicetos decresce e as bactérias em forma de esporos, algas e fungos, apresentam uma menor diversificação quase que desaparecendo. Os fungos parecem ser o grupo mais estável em função das alterações causadas pelos metais pesados. Neste mesmo trabalho observa-se que a atividade bioquímica do microorganismo decresce em solos poluídos. A decomposição da celulose e a síntese de aminoácidos livres é inibida, bem como a quantidade de matéria orgânica móvel e atividade de invertase decresce. Significativas alterações na composição microbiana do solo e decréscimo da atividade, ocorrem em solos que receberam 400mg de cobre e níquel por 700Kg de solo.

YEUDOKIMOVA (1980), também verificou que aplicações de esterco animal fortalecem a atividade biológica em solos poluídos por metais pesados, estabilizando a acidez e reduzindo as concentrações de metais pesados, com as respostas sendo ainda melhores pela ação das raízes das plantas.

De acordo com a Conferência Européia sobre manejo de resíduos urbanos, a maioria dos países do bloco europeu

utilizam na agricultura resíduos de lodo de esgoto, citando a Irlanda, Alemanha, França, Bélgica, UK, Dinamarca e Netherlands, com um consumo na agricultura de 4, 34, 23, 10, 44, 45 e 31% respectivamente do total de resíduos produzidos.

BAUER, citado por DICK (1978), verificou que o propósito da aplicação de lodo de esgoto na agricultura não tem causado problemas no meio ambiente, e que o custo do lodo de esgoto no ambiente é adversamente afetado por precauções na retirada e deposição em relação a perigos que possam causar.

No que se refere a utilização de composto de lixo urbano, principalmente nas áreas próximas as cidades, nunca foi totalmente abandonada como meio de eliminação de resíduos de forma racional. Nos últimos anos, porém, tomou impulso devido a elevação dos preços dos fertilizantes e corretivos (MAZUR *et alii*, 1983).

A adição do composto de resíduo urbano ao solo resulta numa multiplicidade de efeitos sobre o solo e a planta. Além da melhoria das atividades biológicas, fornece certa quantidade de macro e microelementos e contribui para

a redução do alumínio trocável do solo (GIORDANO *et alii*, 1975; MAZUR *et alii*, 1983).

MAZUR *et alii*, 1983 estudou o efeito do composto de resíduo urbano na disponibilidade de fósforo em solo ácido, evidenciando uma ação positiva, que poderia estar relacionada a redução de fixação do fósforo e/ou mineralização da matéria orgânica, verificando uma elevação de até 57% no teor de fósforo solúvel pela aplicação do composto.

GAMBALE *et alii* (1987), fazendo uma avaliação da microbiota fungica em lodo digerido, observou uma alta incidência de bolores (Aspergillus, Fusarium, Scedosporium, Penicillium, Cephalosporium, Verticillium, Trichoderma e outros gêneros) após um tratamento térmico de 50 a 115 graus centígrados. Concluiu que lodos de esgoto provenientes de digestores apresentavam alta contaminação por fungos e os tratamentos utilizados não reduzem o seu teor em níveis significativos.

Sobre a ocorrência de organismos patogênicos, PEREIRA NETO (1987) realizou um monitoramento durante o processo de compostagem do lixo urbano e lodo de esgoto pelo sistema de



pilhas estáticas aeradas. Observou que no decurso de 32 dias de aeração, a temperatura de 50 a 60 graus centígrados, houve eliminação completa de Escherichia coli, Streptococci, Salmonellae e ovos de Ascaris, evidenciando ser este sistema viável, na produção de compostos livres de agentes patogênicos.

Em síntese, qualquer material, natural ou sintético, aplicado ao solo, pode afetar a atividade microbiológica e a fertilidade do solo. Desde que as aplicações sejam manejadas adequadamente, os efeitos prejudiciais, sobre o crescimento das plantas e sobre o meio ambiente, podem ser evitados. Deve-se considerar, também, que tal material pode, com frequência, ser potencialmente benéfico à estrutura do solo e ao crescimento das plantas. Os esforços de pesquisas devem ser dirigidos à compreensão e aproveitamento desses efeitos benéficos com eficiência máxima (LYNCH, 1986).

## 2.11. A CULTURA DO MILHO (Zea mays) EM RESPOSTA À FERTILIZAÇÃO FOSFATADA NO ESTADO DO PARANÁ.

No período de 1968 a 1972, uma rede de 92 ensaios com a cultura do milho foi conduzida pelo projeto CEREN/ANDA/BNDE, em áreas recém desbravadas da região Oeste do Paraná. Os resultados evidenciaram que o fósforo era o único nutriente a proporcionar aumentos compensadores de produção, com doses de 80 a 120 Kg/ha/ $P_2O_5$  aplicados a lanço, mostrando os melhores resultados (SCOTTI *et alii*, 1971; MUZILLI e KALCKMANN, 1971).

No período de 1975 a 1978, o programa Milho/Sorgo do Iapar realizou uma série de ensaios com o objetivo de identificar classes de resposta do milho aos teores de fósforo revelados pela análise de solo e estimar doses econômicas de fertilização baseadas em funções de produção ajustadas para as diferentes classes de disponibilidade do nutriente no solo (MUZILLI, 1982).

De modo geral, nos dias atuais há o consenso de que, para a cultura do milho, em solos de baixa fertilidade a

prática da fertilização fosfatada desponta como medida essencial para melhorar o desempenho e a produtividade da cultura no Estado do Paraná. Contudo, se implantada em solos de boa fertilidade e com adequado suprimento de fósforo ou se for incluída num sistema de produção diversificado em rotação com a sucessão trigo-soja, de modo geral os rendimentos da cultura são elevados e não se verificam respostas a adubação fosfatada, ou quando ocorrem são de pouca intensidade, conforme atestam dados obtidos pelo programa Milho/Sorgo do Iapar (MUZZILLI, 1982).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICA DA ÁREA EXPERIMENTAL.

O experimento esteve localizado na Estação Experimental do Canguiri da Universidade Federal do Paraná, no município de Piraquara. Suas coordenadas são: Latitude Sul 25º 25', Longitude Oeste 49º 08' e Altitude de 930 metros. A temperatura máxima variou de 18,8º a 28,0º C, a mínima de 8,2º a 17,2º C; a umidade relativa do ar, variou de 74,4 a 88,1%, com a precipitação pluviométrica apresentando menor valor no mês de agosto de 1985 com 6,9mm e o mês de janeiro de 1986 com o maior índice de chuvas de 264,4mm (Tabela 3 ).

O relevo geral da área é suave ondulado, apresentando no local do experimento uma declividade de aproximadamente 2%.

No local, o solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Alíco, desenvolvido a partir dos produtos provenientes de rochas sedimentares e cristalinas, principalmente arcólios e granitos três corregos, do pré-cambriano (EMBRAPA - SNLCS. Boletim Técnico 57, 1984).

As características químicas iniciais foram: pH= 5,5; Ca+Mg=13,5 meq/100 cc; P=5,2ppm; K=43ppm; Al= 0,0 meq/100g solo e C=3,7% (Tabela1). As determinações foram feitas no Laboratório de Fertilidade do Setor de Ciências Agrárias do Departamento de solos da UFPr. A análise granulométrica efetuada no Laboratório de Física do solos da UFPr, indicou para profundidade de 0 a 40cm a seguinte composição textural: areia total 25%, silte 21%, argila 54% .

### 3.2. CARACTERÍSTICA DO FOSFATO NATURAL UTILIZADO.

O produto fosfatado teste, oriundo de rochas fosfatadas de patos de minas e produzido pela golasfertil, apresentou-se com 26% de  $P_2O_5$  total, com 4,5% de fósforo solúvel em ácido cítrico 2%.

### 3.3. CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS UTILIZADOS.

As análises químicas de rotina foram feitas pelo Laboratório de Química de Solo, do Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, com as determinações de metais pesados, feitas pelo Laboratório de Química da Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SUREHMA.

#### 3.3.1. COMPOSTO DE LIXO URBANO

Foi utilizado um composto de resíduo urbano com pH 4,8; Al 0,0 meq / 100 cc; Ca + Mg > 10,0 meq / 100 cc; P > 30,0 ppm; K > 120,0 ppm e C = 5,8% (Tabela 2). O composto foi preparado e adquirido junto a usina de tratamento do IPPUC-ISAN / PUC - Pr. Os teores de metais pesados em ug / g de composto de lixo urbano seco a 50 °C: Cd, 1,39; Pb, 164,34; Ca, 17.548,15; Co, 10,28; Cu, 446,69; Cr, 103,26; Fe, 71.000; Mn, 568,48; Me, 25,0; K, 5.882,04; Zn, 957,11 (Tabela 2), para uma relação C/N de 10:1.

### 3.3.2. LODO DE ESGOTO

Foi utilizado um lodo aerobico proveniente da ETE/BELEM, que trata dos esgotos domésticos da cidade de Curitiba. O material entregue desidratado e sêco ao ar apresentou as seguintes características químicas: pH 7,3, Al 0,0 meq/100 cc, Ca+Mg > 10 meq/100 cc, P >30 ppm, K >120,0 ppm e C 10%(Tabela 2). Os teores de metais em ug / g de lodo de esgoto a 50 °C: Cd, 1,39; Pb, 149,63; Ca,8.807,55; Co, 6,70; Cu, 275,19; Cr, 226,10; Fe,15.300; Mn,407,27; Me, 2,78; Ni, 43,40; K,1.920,50; Zn, 808,95 (Tabela 2), para uma relação C/N de 10:1.

### 3.4. DESENHO EXPERIMENTAL.

O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados com três repetições em parcelas de 30 m<sup>2</sup> (6m x 5m) arranjadas fatorialmente, para os seguintes tratamentos: testemunha (T); fosfato natural (FN), ao qual se incorporou 4,8 kg de fosfato natural patos de minas; composto de lixo urbano (LU), adicionando-se 90 kg de composto de lixo urbano; lodo de esgoto (LE), adicionando-se 90 kg de lodo de

esgoto mais fosfato natural (LE + FN), que recebeu 4,8 kg de fosfato natural patos de minas e 90 kg de lodo de esgoto aeróbico.

Após adição dos materiais orgânicos ao solo e do fosfato natural dia 21/11/1985, procedeu-se uma incorporação dos materiais ao solo, através de uma leve gradagem.

### 3.4.2. PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO

Para a verificação da existência de alguma diferença significativa entre as médias das repetições dos tratamentos, foram adotadas os seguintes procedimentos:

.Inicialmente foi calculada a análise da variância (ANOVA) entre dois fatores, sendo considerado como tais, as repetições e os tratamentos. Esta etapa teve por objetivo detectar a existência de diferença significativa entre as médias dos fatores mencionados:

.Caso não tenha sido detectada diferença significativa entre as médias das repetições, adotou-se uma



ANOVA mais simples , considerando os tratamentos como único fator:

.A variância do resíduo obtida pela ANOVA, foi utilizada para a verificação da diferença entre as médias dos tratamentos, para o qual foi calculada a Amplitude de Duncan, e realizado o teste de significância.

### 3.5. TECNOLOGIA DE CULTIVO.

A planta de milho (Zea mays), cultivar SAVE 342 A, cedida pelas Sementes Mogiana, serviu como indicadora de produção neste experimento.

A semeadura efetuada dia 26/12/1985, manualmente, e colocada uma semente por cova na distancia entre plantas de 0,16m e entre linhas de 1,0m.

Efetuuou-se ao longo do experimento e crescimento da cultura, cinco capinas manuais, com o objetivo de minimizar a competição com plantas invasoras. Os resíduos das capinas

foram deixados nas entre linhas do milho, decompondo-se com o tempo.

Conjuntamente com o plantio, foi adicionado ao solo, 300g de cloreto de potassio por tratamento sendo incorporado ao solo.

### 3.6. AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO.

#### 3.6.1. RENDIMENTO DE GRÃOS.

Foram coletadas todas as espigas presentes nos tratamentos, respeitando o descarte de um metro para a bordadura. A produção foi acondicionada em sacos plasticos no dia 05/05/1986. O processo de debulha foi realizado manualmente com os grãos sendo pesados em balança para determinar a produtividade obtida na parcela entre os tratamentos e posterior extrapolação dos resultados para Kg/ha.

#### 3.6.2. AMOSTRAS DE SOLO

O solo para análise da biomassa microbiana e contagem das colônias de fungos e bactérias, foi coletado segundo a metodologia de POCHON e TARDIEUX (1962), fazendo-se quinze tradagens por parcela na região da rizosfera do milho, na profundidade de 10cm com um trado do tipo holandes. As amostras foram coletadas em: 20/08/1985 (inverno), 01/12/1985 (primavera), 08/01/1986 (verão), 28/02/1986 (verão), 05/05/1986 (outono).

Por ocasião das coletas de solo, todo material utilizado recebeu lavagem com água e desinfecção com álcool etílico, antes do uso e após cada operação. Este procedimento teve por objetivo a minimização dos efeitos de contaminação entre tratamentos, que poderiam influir nos resultados finais.

Todas as amostras deste trabalho seguiram os seguintes passos: as amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas a temperatura ambiente durante 7 dias; após o período de incubação, as amostras foram secas ao ar, tamizadas em tamiz de 2mm e devidamente quarteadas, tomando-se cuidado neste processo para desinfetar todo material utilizado para não haver contaminação entre tratamentos; terminada a operação de quarteamento as amostras foram acondicionadas novamente em sacos plásticos

perfurados e mantidas por mais 7 dias a temperatura ambiente, com o objetivo de equilibrar a população microbiana presente; a partir destes procedimentos se efetuaram as análises químicas e microbiológicas do solo.

### 3.7. DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS DO SOLO

#### 3.7.1. ANÁLISE FÍSICA DO SOLO

O material coletado foi analisado pelo laboratório de física do solo, do Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

##### 3.7.1.1. GRANULOMETRIA

A fração argila foi determinada pelo método do densímetro, segundo EMBRAPA (1979a), a fração areia por tamização e a fração silte por diferença, conforme VETORI e PIERANTONI citado por EMBRAPA (1979a).

##### 3.7.1.2. UMIDADE ATUAL

Utilizou-se para determinação da umidade atual o método da estufa a 105 - 110°C segundo EMBRAPA (1979a), calculando-se a percentagem de umidade pela expressão: % umidade =  $100 \text{ (peso da amostra umida - peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C)} / \text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}$ .

### 3.7.2. ANALISE QUIMICA DO SOLO

Analizadas pelo Laboratório de Química do Solo e de Fertilidade do Solo do departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná e laboratório de fertilidade do solo e nutrição de plantas do Instituto Agronomico de Campinas.

#### 3.7.2.1. DETERMINAÇÃO DO pH.

Segundo EMBRAPA (1979a), em  $\text{CaCl}_2$  0,01M na relação de 1:2,5 usando eletrodo de vidro de nitrato de prata, medindo em potenciômetro da marca Metron Herisan-Meter E 350B.

### 3.7.2.2. DETERMINAÇÃO DO FOSFORO.

#### 3.7.2.2.1. EXTRATOR DE MEHLICH

Determinado colorimetricamente utilizando reagente de molibdato de amônio em solução extratora de HCl 0,05N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N, segundo EMBRAPA (1979a).

#### 3.7.2.2.2. RESINA DE TROCA ANIONICA

Análise efetuada no laboratório de fertilidade do solo e nutrição de plantas do Instituto Agronômico de Campinas para as mesmas amostras de solo, e que utiliza a metodologia descrita por RAIJ et alii (1987).

#### 3.7.2.3. DETERMINAÇÃO DO POTASSIO

Determinado fotometricamente segundo metodologia preconizada pela EMBRAPA (1979a), em fotômetro de chama marca NK-2000 DIGIMED utilizando extrator de Mehlich 1:10.

#### 3.7.2.4. DETERMINAÇÃO DO CARBONO

Determinado pelo método colorimétrico de acordo com RAIJ *et alii* (1987).

#### 3.7.2.5. DETERMINAÇÃO DO HIDROGENIO+ALUMINIO

Determinado potenciométricamente pela solução tampão SMP, segundo RAIJ *et alii* (1987).

#### 3.7.2.6. DETERMINAÇÃO DO CÁLCIO + MAGNÉSIO

Foi utilizado o método complexométrico pelo emprego de EDTA, segundo EMBRAPA (1979a).

#### 3.7.2.7. DETERMINAÇÃO DO FÓSFORO TOTAL

Efetuada no Laboratório de Nutrição Mineral de plantas segundo metodologia de JACKSON (1958), para digestão total do solo e determinação do fósforo total pelo método colorimétrico cor azul, com aparelho PL4 ZEISS, filtro HG578.



### 3.7.3. ANALISES MICROBIOLÓGICAS

#### 3.7.3.1. CONTAGEM DE BACTÉRIAS E FUNGOS TOTAIS E SOLUBILIZADORES.

A avaliação da população microbiana e solubilizadores de fosfato foi determinada de acordo com KATZNELSON *et alii* (1962), suplementando o meio com peptona (0,5g) e extrato de levedura (0,5g) e diferenciando as bactérias e fungos pela adição de rosa bengala (5ml), estreptomocina (1ml) e cicloheximida (1ml).

As condições ótimas do ensaio determinadas experimentalmente, recomendaram as diluições  $10^{-3}$  para contagem das colônias fúngicas e  $10^{-4}$  para contagem das populações bacterianas. Foram utilizados controles para se assegurar dos efeitos de contaminação com os resultados sendo traduzidos para número de propagulos por grama de solo seco.

### 3.7.3.2. BIOMASSA MICROBIANA E RESPIRAÇÃO

#### 3.7.3.2.3. BIOMASSA MICROBIANA

Determinou-se pelo método de JENKINSON e POWLSON (1976), modificado por CARVALHO e RIBAS Jr (1986) no sentido a utilização do ácido sulfúrico 0,019N e hidróxido de sódio 0,5N para as titulações, adicionando-se 3 gotas de fenoftaleína 0,5% como indicador.

A Biomassa foi determinada pela diferença entre o  $\text{CO}_2$  liberado pelo solo que recebeu fumigação (X) pelo  $\text{CO}_2$  liberado pela amostra de solo não fumigada no período de 0 a 10 dias de incubação com os resultados expressos em mmg C / 100g solo.

Para cada determinação foi utilizado uma curva padrão de carbonato de potássio com concentrações de 0,010, 0,020, 0,050, 0,100, 0,150, 0,200, 0,250 gramas de carbonato de potássio.

A Biomassa de C foi calculada utilizando-se a formula  $B = (X - x) / 0,45$ . O fator 0,45 corresponde a fração da biomassa morta, com o C sendo mineralizado para  $CO_2$  (Tabelas 8a, 8b, 8c).

#### 3.7.3.2.2. RESPIRAÇÃO

Foi determinada pela liberação de  $CO_2$  através da amostra de solo que não recebeu fumigação no período de 0 a 10 dias de incubação, com os resultados expressos em  $mg CO_2 / 100 g$  solo, de acordo com JEKNINSON (1976) (Tabela 9).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. ESCOLHA DOS PARÂMETROS DE ANÁLISE E METODOLOGIA.

Visando a determinação à nível de campo, da solubilização microbiana de fosfatos, quando da adição de fosfato de rocha com fertilizantes orgânicos, foram escolhidos os seguintes parâmetros para avaliação: produção da cultura do milho; determinação da cinética de solubilização do fósforo durante um período; avaliação da biomassa microbiana e respiração do solo e contagem das populações microbianas de bactérias e fungos.

Os fertilizantes orgânicos escolhidos para o experimento e que serviram como agentes indutores de solubilização microbiana do fosfato natural, foram o composto de lixo urbano, proveniente da Usina do Prado Velho, da Prefeitura Municipal de Curitiba - IPPUC/PUC-Pr, e o lodo de esgoto tratado nas lagoas de secagem da ETE-BELEM/SANEPAR, responsável pelo tratamento dos esgotos de Curitiba, que utiliza o processo aeróbico.

O sentido da utilização destes compostos no experimento, se resume na inexistência em nosso Estado, de parâmetros científicos que indiquem ou não, o uso na agricultura, com respostas práticas de aumento da produção e recondicionador de fertilidade em solos degradados. Outro fator de preocupação, se voltou na existência de uma grande produção contínua destes resíduos, principalmente nos grandes municípios do Estado, e que vem causando sérios distúrbios sociais e econômicos para população.

A utilização do fosfato natural, e estabeleceu na existência de diversas jazidas de fosfato de rocha no Brasil. Este material recebe um tratamento simples de moagem, que resulta em baixo custo final ao produtor rural, que busca alternativas para minimização de seus custos de produção, sendo as adubações fosfatadas um componente importante nessas análises. O fosfato natural "patos de minas", tem mostrado, com relação ao superfosfato triplo, uma eficiência inicial baixa (3 a 20%), melhorando um pouco após alguns anos (27 a 45%) (KORNDORFER, 1978 e OLEJNIK, 1980).

Neste sentido e baseado nas evidências de solubilização microbiana de fosfatos naturais, procura-se com o experimento uma alternativa de uso do fosfato natural,

procurando aumentar o seu teor de fósforo solúvel no solo, através de uma resposta positiva de produção pela cultura teste.

Para diagnosticar a cinética de solubilização do fósforo no solo, optou-se por duas metodologias de extração, extrator de Mehlich e Resina de troca anionica.

O sentido da determinação do fósforo por estas duas metodologias, fundamenta-se na existência de diversos trabalhos científicos que evidênciam diferenças significativas nos resultados de fósforo solúvel, quando do uso de um fosfato natural ao solo e absorção pelas plantas com reflexo na produção.

Como o objetivo do trabalho era de se testar a interação do fosfato natural com determinados compostos orgânicos no solo e avaliar a participação de microorganismos solubilizadores no processo, eram previstas variações no comportamento do fósforo no solo e observava-se a existência de poucos trabalhos, nos termos do experimento.

Para avaliação da atividade microbiológica no solo, optou-se pela determinação da biomassa microbiana e respiração, utilizando-se a metodologia proposta por JENKINSON e POWLSON (1976), que apesar das limitações oferecidas segundo SAMPAIO et alii (1986), esta metodologia apresentava-se para as condições do experimento como sendo, mais prática, de fácil condução no laboratório, oferecia maior rapidez nos cálculos e de baixo custo operacional.

Esta metodologia foi otimizada no mesmo laboratório por CARVALHO e RIBAS Jr (1986), que conseguiram maior precisão dos resultados, quando da utilização do ácido sulfúrico 0,019N com um gasto na bureta ao redor de 45ml para titulação do hidróxido de sódio a 0,5N. Este procedimento minimiza os erros pela maior amplitude dos números, reproduzindo melhor os resultados.

Nas determinações dos microorganismos com capacidade de solubilizar fosfatos no solo, empregou-se o método da contagem direta em placas, desenvolvido por KATZNELSON (1969). Foram feitas quantificações preliminares de microorganismos indicando para as melhores contagens as diluições  $10^{-3}$  para fungos e  $10^{-4}$  para as bactérias.

A metodologia proposta utiliza no meio de cultura, extrato de solo, glucose, agar,  $K_2HPO_4$  e  $CaCl_2$ , sendo para as contagens de fungos, adicionado ao meio de cultura o rosa bengala e a estreptomicina, visando eliminar microorganismos indesejáveis. Para as bactérias apenas a adição de cicloheximida, para conter o aparecimento de fungos principalmente.

O esquema proposto mostrou eficiência, sendo um bom indicador para os trabalhos de determinação de microorganismos solubilizadores de fosfato, visto a boa visualização oferecida para contagem das colônias, com uma perfeita formação dos halos de solubilização.

Cuidados foram tomados no sentido de se conduzir as análises microbiológicas com os mesmos reagentes para todos os conjuntos de amostras, tanto para fungos quanto para bactérias. Os trabalhos foram conduzidos em câmara asséptica, com a intenção de minimizar os efeitos de contaminação.

A área experimental oferecida pela administração do centro, apresentava na época uma vegetação uniforme, caracterizando certa homogeneidade do terreno.



Por ocasião da instalação do experimento, o terreno recebeu uma aração e uma gradagem mecânica, com os resíduos vegetais sendo incorporados ao solo. Após um repouso de 30 dias, foi efetuada a primeira coleta de solo, em 20/08/1985.

Segundo DOMSCH e PAUL (1974), é imprescindível uma estabilização das funções microbianas em solos removidos, quando se objetivam medidas microbiológicas. Se considera que o tempo necessário para formação das células microbianas é maior para as condições de campo, do que nas condições ótimas de laboratório, com uma estimativa realística, cerca de 10 dias para laboratório e 20 dias para condições de campo.

A adição ao solo do composto de lixo urbano, lodo de esgoto e fosfato natural, não obedeceu o cronograma previamente estipulado, em função do prolongado período de estiagem (Tabela 3), ocorrida nos meses de agosto a novembro de 1985, com este procedimento sendo efetuado após 92 dias da primeira coleta de solo em 21/11/1985.

Segundo ALEXANDER (1980), a população microbiana do solo flutua temporalmente ao longo do ano, sendo assim as amostragens de solo foram distribuídas aleatoriamente e

dentro das diferentes estações do ano, com a primeira coleta efetuada em 20/08/1985, no inverno e correspondendo a 0 dias experimentais, a segunda coleta dia 09/12/1985 na primavera sendo decorridos 111 dias experimentais, a terceira dia 08/01/1986 no verão a 141 dias, a quarta em 28/02/1986 no verão correspondendo a 192 dias experimentais e a quinta e última coleta de solo dia 05/05/1986 no outono a 259 dias de experimento à campo.

#### 4.2. DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS NO LÔDO DE ESGOTO E COMPOSTO DE LIXO URBANO.

Com o propósito de minimizar os erros experimentais e avaliar os teores de metais pesados nos compostos orgânicos utilizados, foram realizadas uma série de análises desses materiais (Tabela 2).

Considerando os parâmetros utilizados para índices de metais pesados para o lodo de esgoto do SEVERN-TRENT WATER AUTHORITY (1979), tanto o composto de lixo urbano, quanto o lodo de esgoto utilizados no experimento, podem ser classificados como sendo de baixos teores em metais pesados. Convém salientar que não são conhecidos os valores para

Selênio, Molibdênio, Arsênio e Boro, por não estarem enquadrados nos testes de rotina da SUREHMA.

Apesar dos teores de metais pesados serem equivalentes em termos de matéria seca entre o composto de lixo urbano e o lodo de esgoto, esses são mais elevados, no composto de lixo urbano, devido os menores valores para teores de umidade, ou seja, o composto de lixo urbano apresenta de 30 a 45% de umidade, com o lodo de esgoto ao redor de 85%.

Neste sentido, e utilizando quantidades equivalentes no solo, o lodo de esgoto aeróbico produzido na ETE-BELEM apresenta melhores qualidades, no tocante a metais pesados, que o composto de lixo urbano. Convém salientar que tanto o lodo de esgoto utilizado no experimento, quanto o composto de lixo urbano, podem ser considerados de baixos teores, no entanto, o problema com metais pesados se encontra presente.

Selênio, Molibdênio, Arsênio e Boro, por não estarem enquadrados nos testes de rotina da SUREHMA.

Apesar dos teores de metais pesados serem equivalentes em termos de matéria seca entre o composto de lixo urbano e o lodo de esgoto, esses são mais elevados, no composto de lixo urbano, devido os menores valores para teores de umidade, ou seja, o composto de lixo urbano apresenta de 30 a 45% de umidade, com o lodo de esgoto ao redor de 85%.

Neste sentido, e utilizando quantidades equivalentes no solo, o lodo de esgoto aeróbico produzido na ETE-BELEM apresenta melhores qualidades, no tocante a metais pesados, que o composto de lixo urbano. Convém salientar que tanto o lodo de esgoto utilizado no experimento, quanto o composto de lixo urbano, podem ser considerados de baixos teores, no entanto, o problema com metais pesados se encontra presente.

#### 4.3. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DO MILHO (Zea mays) EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS APLICADOS.

Os resultados referentes a produção do milho, são demonstrados na Figura 1.

O tratamento que não recebeu fosfato natural, composto de lixo urbano e lodo de esgoto, apresentou uma média de produção de 1.377 Kg/ha. Para os tratamentos que receberam composto de lixo urbano e lodo de esgoto na ausência de fosfato natural, a produção média foi de 2.478 a 2.389 Kg/ha, com uma variação em relação a testemunha de 78% e 74%, respectivamente. Pela Tabela 15, a amplitude de Duncan calculada ao nível de significância de 5% é igual a 914.13, o que constata a existência de diferença entre as médias do Composto de Lixo Urbano e Lodo de Esgoto quando referidas a Testemunha.

O tratamento apenas com fosfato natural, não apresentou ganho significativo de produção em relação a testemunha, sendo observada uma redução de 9%. A diferença

entre as médias igual a 122.0 é inferior a amplitude de Duncan a 5%, igual a 914.13.

Para os demais tratamentos com fosfato natural mais composto de lixo urbano e fosfato natural mais lodo de esgoto, constataram-se diferenças significativas a 1% de significância entre as médias destes tratamentos referidas a testemunha. A amplitude de Duncan calculada para este caso, é igual a 1282.15, conforme a Tabela 15. As diferenças entre as médias de produção foram de 96% e 136% respectivamente, em relação a testemunha.

Estes resultados evidenciam efeitos positivos dos compostos orgânicos adicionados ao solo, conjuntamente com o fosfato natural na produção do milho (Figura 2). Este fato pode estar relacionado ao fornecimento de elementos nutritivos, principalmente de fósforo para as plantas, através da mineralização dos compostos orgânicos e solubilização microbiana de fosfatos naturais.

Os resultados de produção obtidos, concordam com o trabalho de BETTIOL et alii (1983), quando evidenciou que o lodo de esgoto, pode ser utilizado como fonte de nutrientes para a cultura do milho. Estes resultados também são

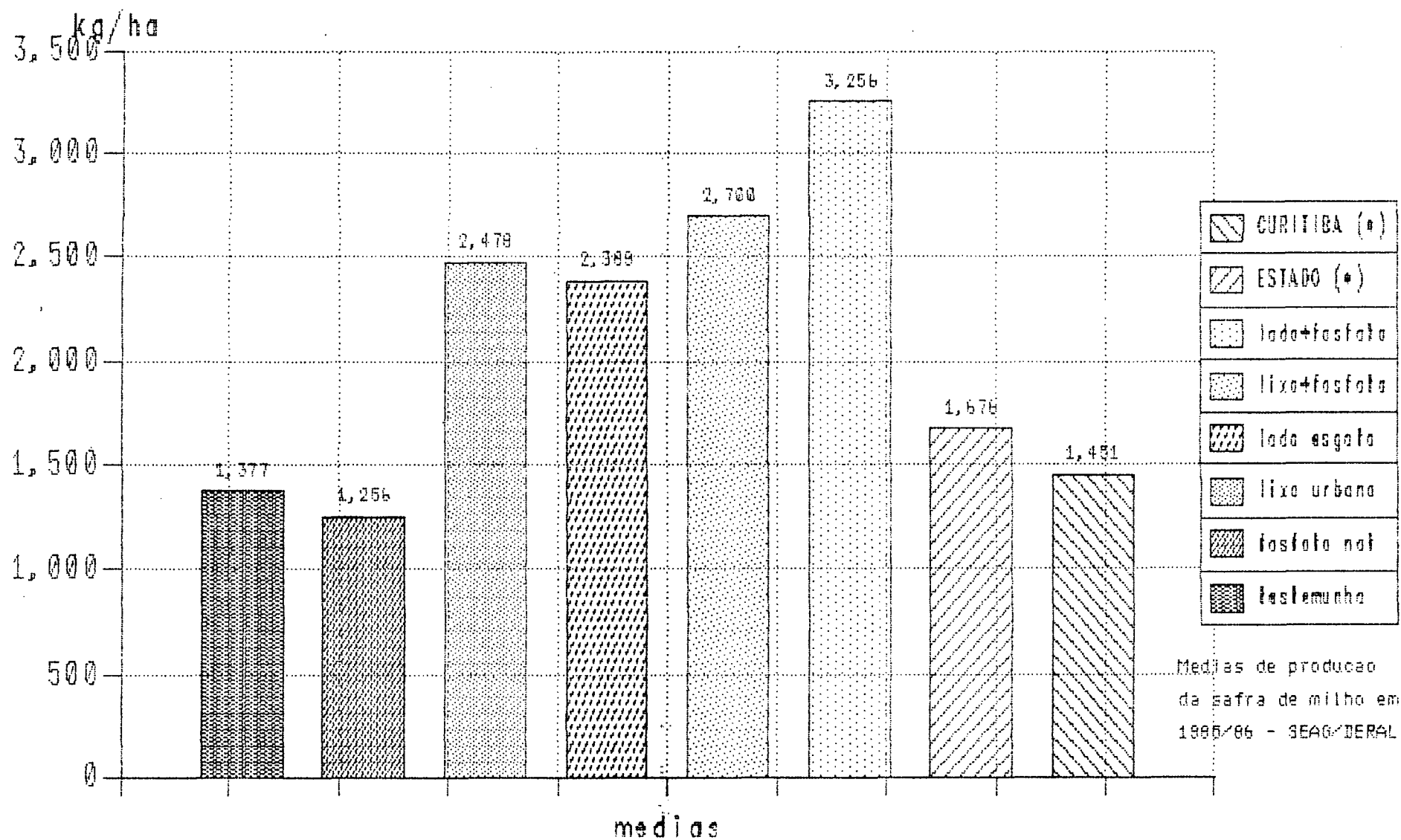


Figura 1: Demonstrativo da variacao da producao entre as medias dos tratamentos na cultura do milho

similares aos obtidos por GIORDANO e MAYS (1981) e BETTIOL et alii (1982).

Numa avaliação da produção obtida para os diferentes tratamentos, em relação a média de produção para o Estado do Paraná e Região Metropolitana de Curitiba (Figura 1), para o mesmo período, observa-se para os tratamentos com composto de lixo urbano, lodo de esgoto, composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, um ganho de produtividade em relação aos dois parâmetros de: 30% e 50%; 43% e 65%; 61% e 86%; 94% e 124%, respectivamente.

Nesta comparação de resultados, convém relatar sobre os problemas ocorridos com a cultura do milho neste período para o Estado do Paraná. Segundo o DERAL-SEAB (1986), desde 1978 o Estado como maior produtor nacional de milho, não sofria perdas tão elevadas deste cereal.

A partir dos trabalhos iniciais de preparo do solo e plantio, a cultura do milho foi altamente prejudicada pela escassez hídrica (Tabela 3).



Inúmeros foram os problemas decorrentes deste evento, que prejudicaram os agricultores, citando: retardamento no plantio; ataque intenso de lagartas; baixa eficiência no uso de inseticidas e herbicidas; aumento nos custos de produção pela necessidade de replantios; queima e morte das plantas em decorrência da alta temperatura; paralisação do crescimento vegetativo das plantas em decorrência da baixa precipitação pluviométrica e pouca circulação de seiva nas plantas.

Para o mês de Janeiro em diante, as condições climáticas normalizaram em todo o Estado, porém a quebra na produção era praticamente irreversível, haja vista que muitas lavouras foram atingidas em plena floração e frutificação, estágios considerados críticos quanto a necessidade de umidade para formação e desenvolvimento dos grãos.

Com a ocorrência desta estiagem, a safra normal de milho (1985/86) teve quebra de mais de 50%, traduzindo numa perda de 3.200.000 t. do cereal, no Estado do Paraná.

Analisando este quadro e os resultados experimentais obtidos, vislumbra-se a viabilidade de uso do composto de

lixo urbano e do lodo de esgoto, como indutores de aumento real de produção para a cultura do milho.

O experimento também evidencia, que o uso apenas de fosfato natural ao solo, não apresenta um ganho de produção para a cultura do milho, pelo menos no primeiro ano. Resultados semelhantes foram observados por OLEYNICK (1980); DYNIA (1977); MUZZILI (1982) e KORDORFER (1978).

Neste sentido, e analisando os aspectos sociais e econômicos, o uso na agricultura do composto de lixo urbano, lodo de esgoto e fosfato natural apresenta-se com boas perspectivas, pelo fundamento científico de uso racional ao solo e da possibilidade de desova dos grandes depósitos residuários existentes. Cabe acrescentar dos benefícios advindos da reciclagem de nutrientes oferecida pelos compostos orgânicos recondicionando solos pobres em termos químicos, físicos e biológicos. Finalmente é bom salientar sobre a necessidade de condução de outros estudos, que envolvam diferentes regiões, tipos de solos e culturas, antes de se difundir como uma prática viável à agricultura. Considerações devem ser feitas para os locais mais distantes dos centros urbanos que não processam estes tipos de resíduos.

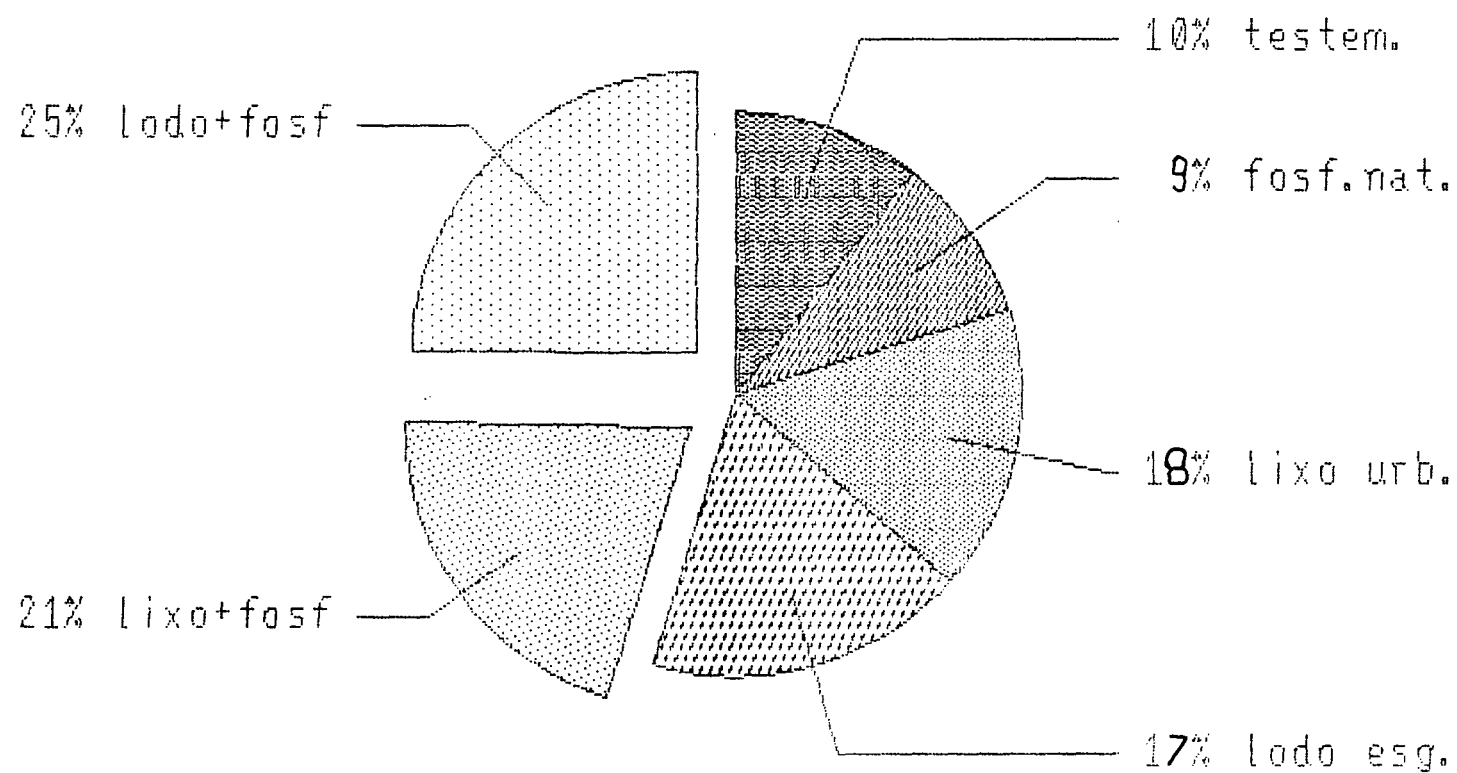


Figura 2 : Comparacao relativa das medias de producao  
entre os tratamentos

#### 4.4. AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE SOLUBILIZAÇÃO DO FÓSFORO.

A cinética de solubilização do fósforo no solo pelo extrator de Mehlich é apresentada pelas Figuras 3 e 4.

A curva demonstra que não houve variação no teor de fósforo solúvel na testemunha ao longo do tempo. Os tratamentos com composto de lixo urbano, lodo de esgoto, composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, foram superiores ao tratamento somente com fosfato natural, a partir dos 111 dias.

A terceira coleta de solo, efetuada dia 08/01/1986, que corresponde a 141 dias experimentais, revelou um pico na disponibilidade de fósforo para todos os tratamentos, exceto a testemunha. Este aumento no teor de fósforo solúvel em relação a testemunha foi o seguinte: 8, 44, 16, 67, 67 ppm, respectivamente para os tratamentos com fosfato natural, composto de lixo urbano, lodo de esgoto, composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural.

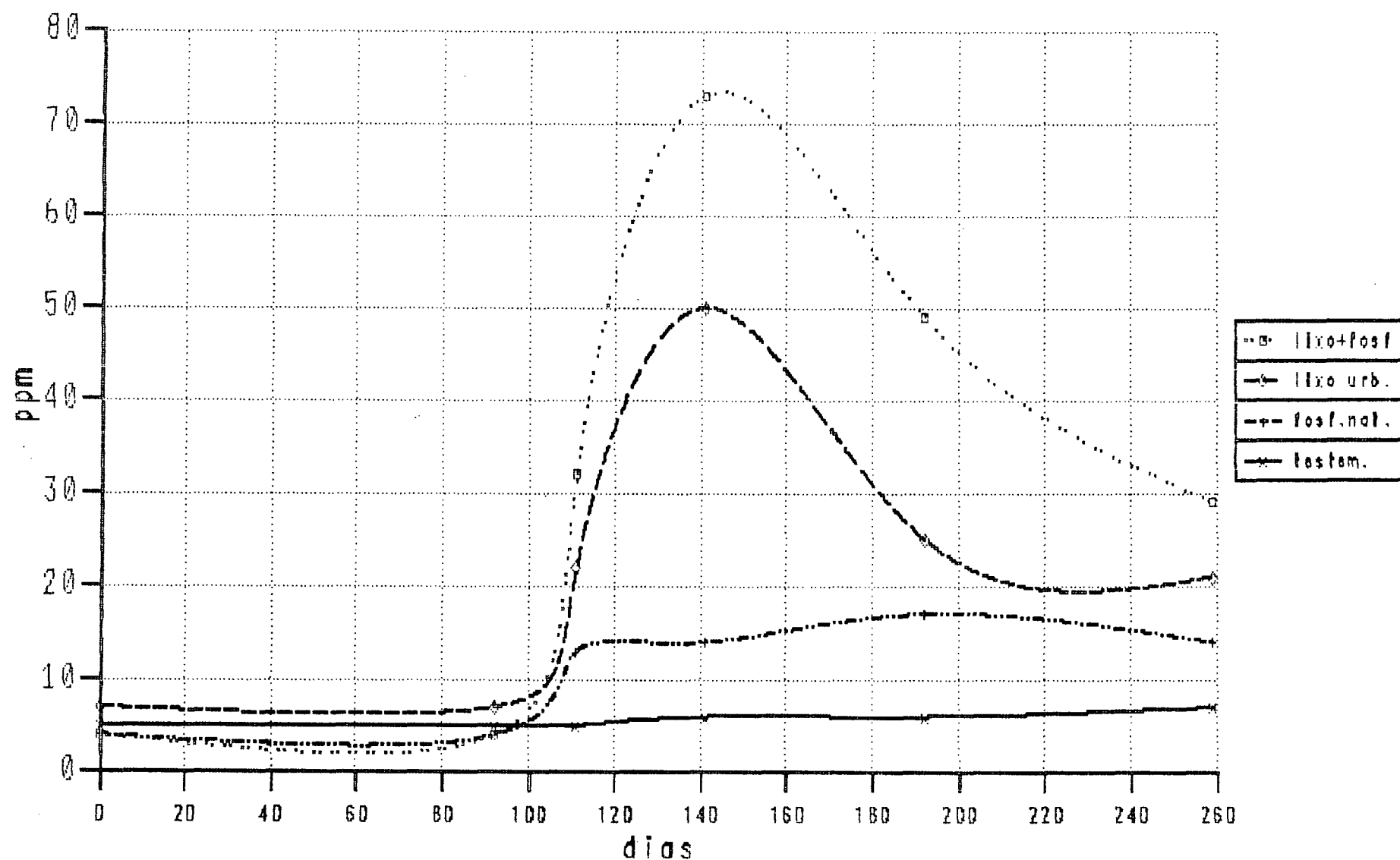


Figura 3 : Curvas dos efeitos da Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat. no fosforo disponivel; extrator de Mehlich

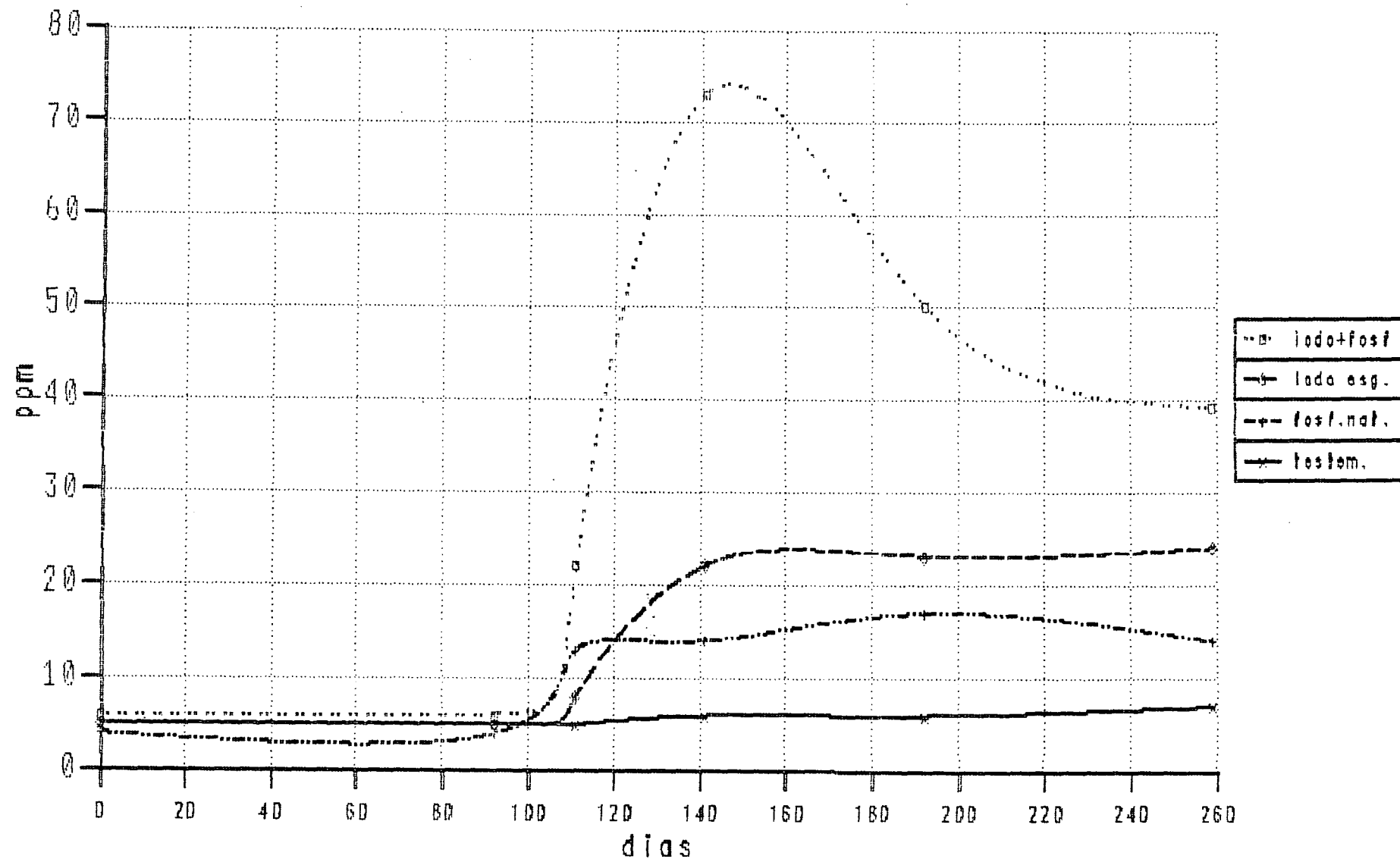


Figura 4 : Curvas dos efeitos da Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat. no fosforo disponivel: extrator de Mehlich

A tabela 17, revela pelo teste da amplitude de Duncan, ao nível de 1% de significância, que existem diferenças entre as médias do composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural. Para o tratamento com composto de lixo urbano, o teste revelou significância ao nível de 5%, não sendo observada a existência de diferença significativa entre as médias do lodo de esgoto e do fosfato natural referidas a testemunha.

Os picos observados para os tratamentos com composto de lixo urbano e lodo de esgoto, evidenciam o processo de mineralização do fósforo orgânico contido nesses materiais e ocorrida pela ação decompositora dos microorganismos heterotróficos do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por vários autores, entre eles ENWEZOR (1966); ALEXANDER (1964); DAUGHTREY (1973); PEPPER (1976) e GREAVES (1965).

As maiores elevações, como descrito anteriormente para os tratamentos com composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, de 67 ppm respectivamente em relação a testemunha, decorrem dos processos de mineralização do fósforo orgânico e dos fenômenos de solubilização microbiana de fosfatos naturais.

Considerando que para este mesmo período de 141 dias, o tratamento somente com fosfato natural apresentou um ganho de fósforo solúvel em relação a testemunha de 8 ppm, e considerando ainda os valores de 44 ppm e 16 ppm atribuídos aos tratamentos apenas com composto de lixo urbano e lodo de esgoto, observa-se uma diferença de 15 ppm e 43 ppm, respectivamente em relação aos tratamentos com composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural.

Se for considerado um desconto de 8 ppm decorrente do efeito do fosfato natural ao solo, verifica-se ainda uma diferença de 7 ppm e 35 ppm, respectivamente para os tratamentos com composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural.

Esta diferença, mais significativa para o tratamento com lodo de esgoto mais fosfato natural, poderá estar relacionada aos processos de solubilização microbiana do fosfato natural no solo. Estes fenômenos foram descritos e evidenciados por inúmeros autores, que estudaram outros tipos de compostos orgânicos e outras formas de fosfato natural em diferentes condições de solo e clima, citando entre eles: RAGHU e Mac RAE (1966); SPERBER (1958); CASIDA (1959); DALTON et alii (1952); EIRA e CARVALHO (1971); DOMMERGUES (1970);



CARVALHO et alii (1977); NAPLEKOVA (1967); VENKATESWARLU (1984); MICHOUSTINE (1972); HARRISON et alii (1972); MYSKOW (1960) e SUNDARA-RAO e SINHA (1963).

A opção pela correlação dos resultados em relação aos dados obtidos pelo extrator de Mehlich em detrimento a Resina de troca anionica (Figuras 5 e 6), se fundamentou basicamente, conforme a Tabela 24, na obtenção de um coeficiente de variação de 13% na determinação do fósforo solúvel para a testemunha ao longo dos 259 dias experimentais, em relação ao coeficiente de variação de 33% apresentado pelo método da Resina para o mesmo tratamento no mesmo período de tempo (Tabela 5). Observou-se também por ocasião da primeira coleta de solo um coeficiente de variação de 33% para as médias das repetições, na determinação do fósforo solúvel para todos os tratamentos pelo método da resina em relação a um coeficiente de variação de apenas 18% apresentado pelo extrator de Mehlich para as mesmas parcelas.

Não foi detectada correlação para o fósforo disponível entre os dois métodos de extração utilizados, na testemunha conforme Tabela 18, e fosfato natural na Tabela 19. Sendo que esta constatação alerta para o fato de que a utilização sem distinção entre os dois métodos poderia

comprometer os resultados do experimento, uma vez que tanto a testemunha como o fosfato natural são as bases para comparação dos demais parâmetros de análise.

Evidencia-se também a correlação significativa entre o fósforo disponível pelo extrator de Mehlich e a produção obtida com a cultura do milho para os valores obtidos aos 141 dias experimentais, período este que corresponde ao máximo de solubilização do fósforo, para todos os tratamentos, conforme Tabela 25.

Foi considerado ainda, a ocorrência de uma inversão nas curvas com composto de lixo urbano e composto de lixo urbano mais fosfato natural (Figura 10), em relação as curvas para os mesmos tratamentos pelo extrator de Mehlich (Figura 3).

Os resultados obtidos não foram similares às evidências observadas por Mazur et alii (1983), o qual testou as duas metodologias de extração para um solo que recebeu fosfato natural e um indutor orgânico de solubilização, utilizando a cultura do milho como planta teste. O autor concluiu neste trabalho que a metodologia de extração pela Resina de Troca Anionica apresenta melhor

correlação entre a produção do milho e a cinética de solubilização do solo em relação ao extrator de Mehlich.

Neste sentido, a opção pela comparação dos resultados com a produção da cultura teste e os dados microbiológicos, através do extrator de Mehlich, se fundamentou na apresentação de resultados mais apurados e em harmonia com os dados de literatura.

Novos experimentos deverão ser desenvolvidos, em condições similares para maior fortalecimento das evidências aqui obtidas.

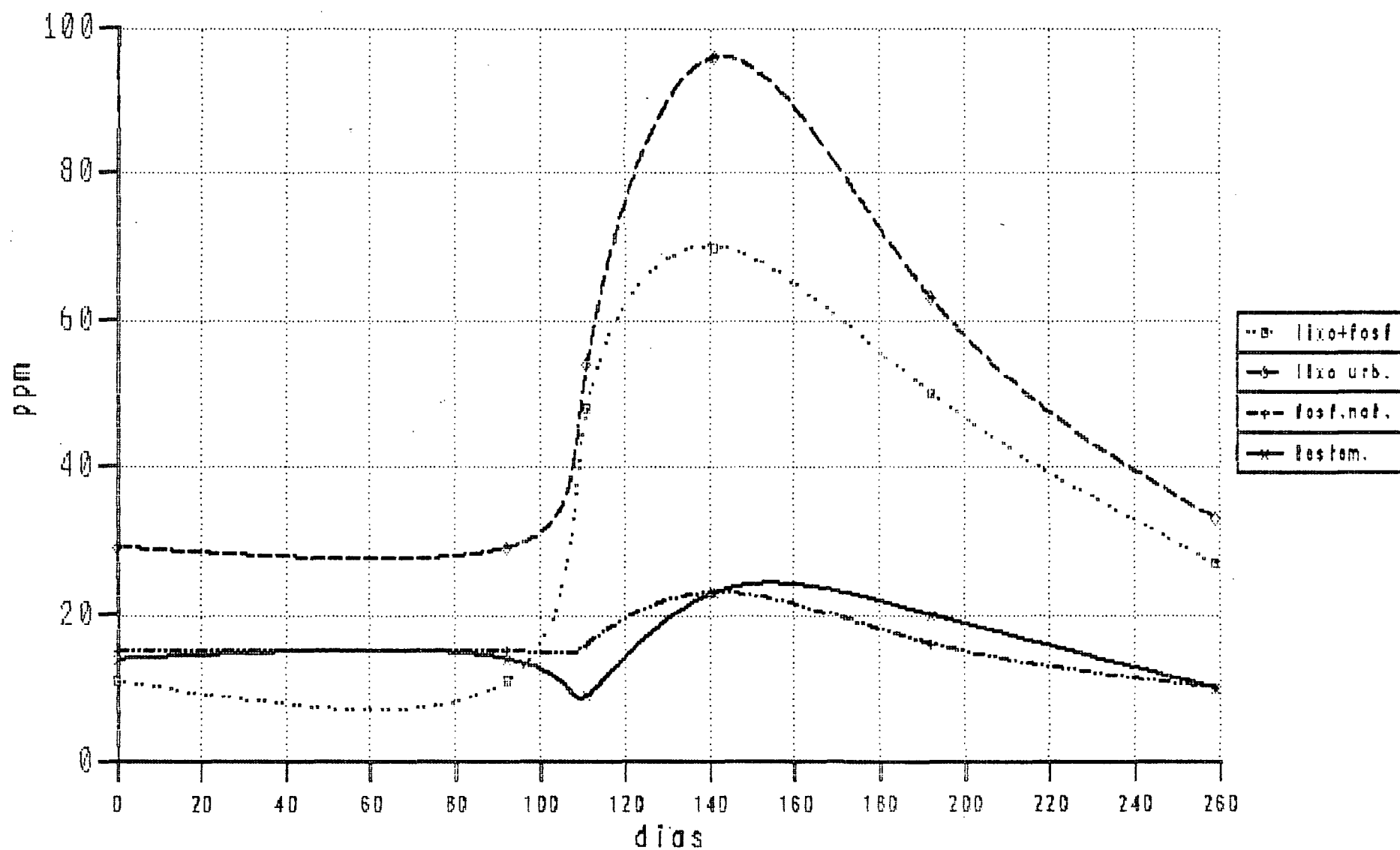


Figura 5 : Curvas dos efeitos da Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat. no fosforo disponivel: extrator Resina

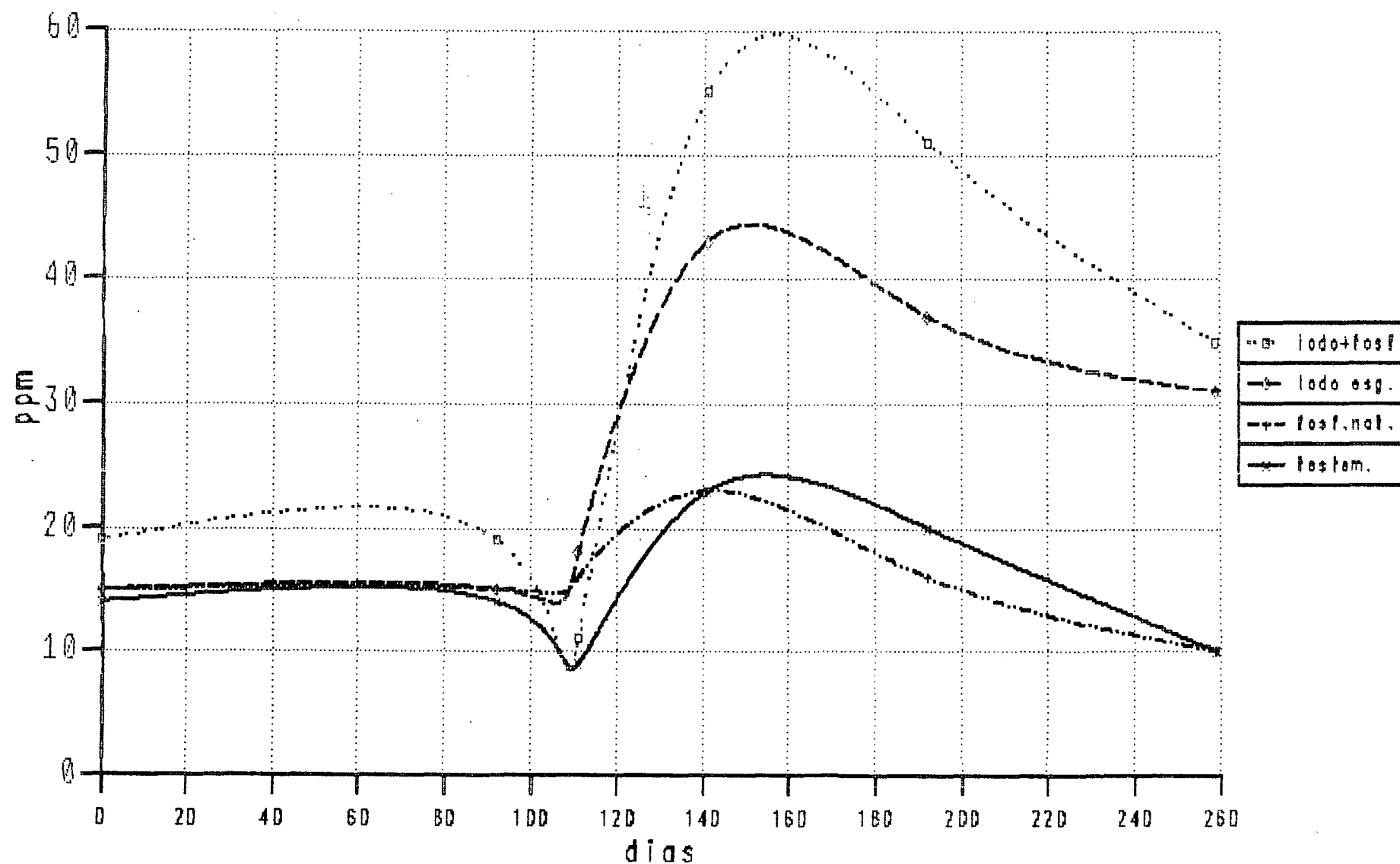


Figura 6 : Curvas dos efeitos da Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat. no fosforo disponivel: extrator Resina

#### 4.5. RELAÇÃO FÓSFORO DISPONÍVEL / FÓSFORO TOTAL.

A relação fósforo solúvel / fósforo total é apresentada pelas Figuras 7 e 8. Observa-se a variação de 1,19% para os zero dias experimentais até 1,67% para os 259 dias experimentais.

Quando se adicionou somente fosfato natural ao solo, houve uma variação de 0,91% para os 0 dias experimentais até atingir um pico de 3,88% nos 192 dias, e uma regressão para 3,2% aos 259 dias.

Para o tratamento com composto de lixo urbano, verifica-se a formação de um pico aos 141 dias experimentais com a relação atingindo 9,12%, com uma tendência de decréscimo até os 259 dias ao apresentar uma relação de 3,83%.

O tratamento com lodo de esgoto apresentou uma tendência de aumento na relação em todo período experimental, passando de 1,05% para 1,67, 4,6, 4,81 e

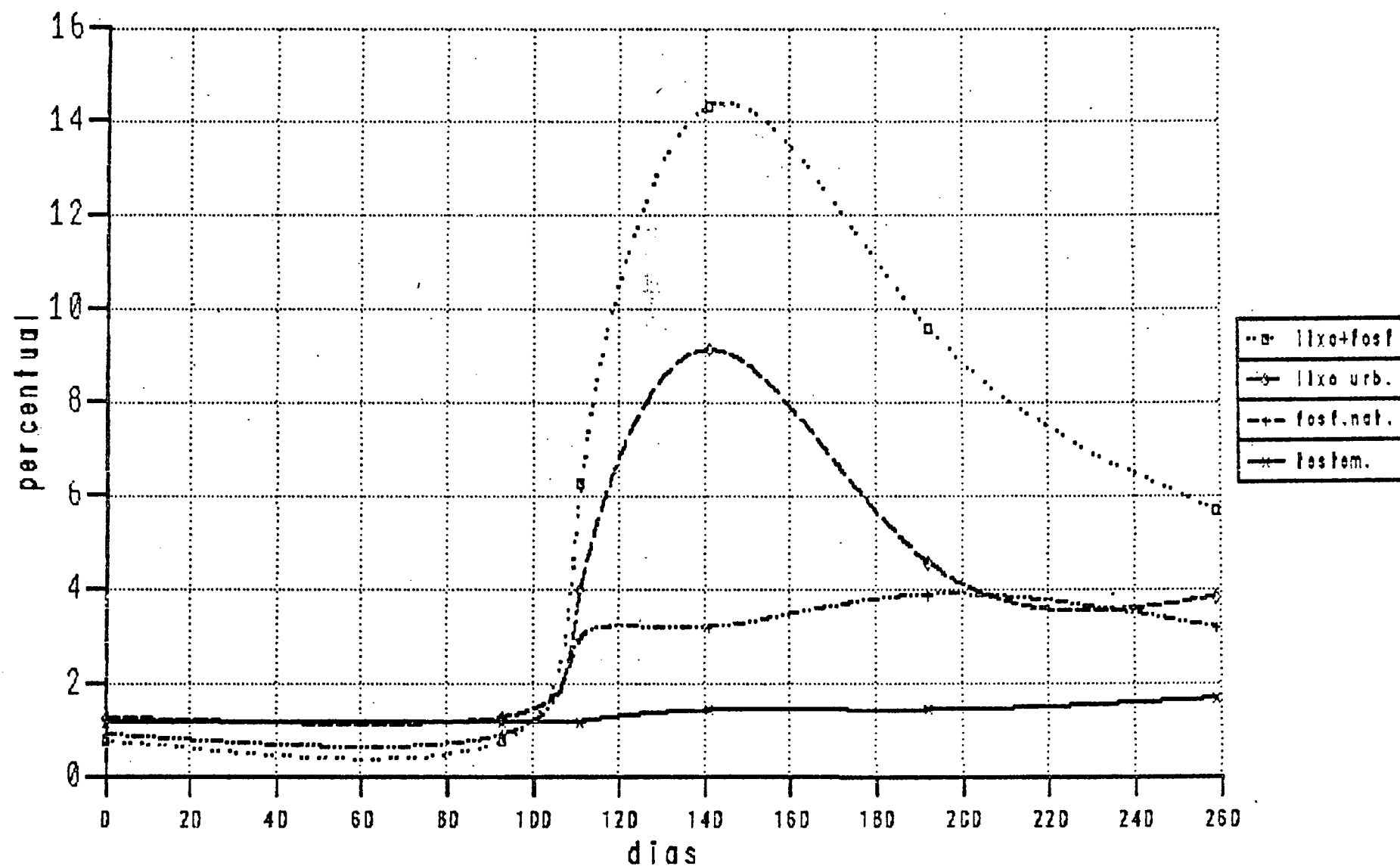


Figura 7 : Relacao Fosforo Disponivel/Fosforo Total no solo para Testem. Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat.: ext. Mehlich

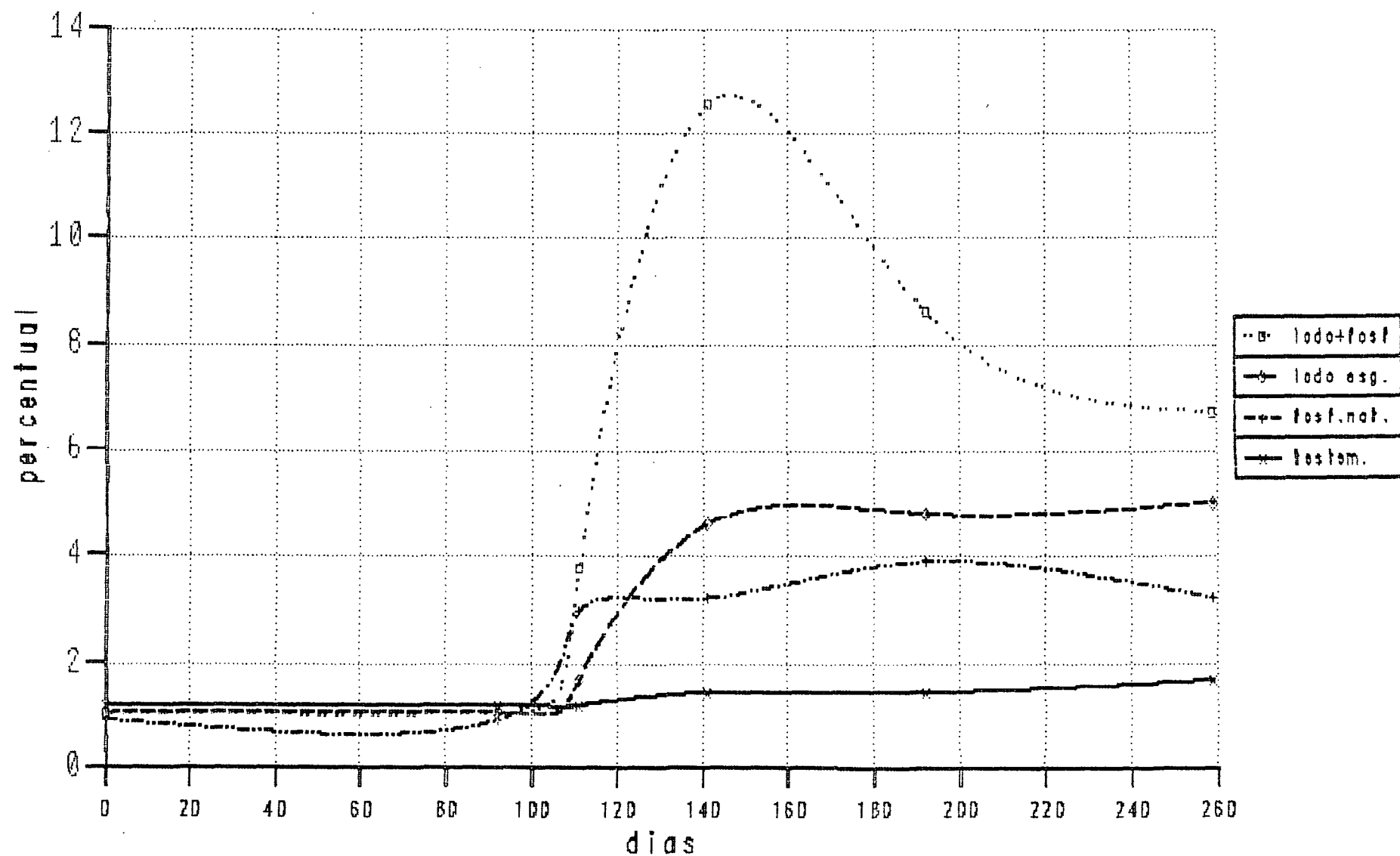


Figura 8 : Relacao Fosforo Disponivel/Fosforo Total no solo para Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat.; ext.Mehlich



5,02%, respectivamente para os zero, 111, 141, 192 e 259 dias experimentais.

Os tratamentos com composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural apresentaram as maiores relações entre o fósforo disponível e o fósforo total do solo, variando de 0,78 e 1,03% para 6,27 e 3,79%, 14,31 e 12,56%, 9,6 e 8,61% e 5,69 e 6,715 para os zero, 111, 141, 192 e 259 dias experimentais, respectivamente.

Observa-se de uma maneira geral para todos os tratamentos, que após o máximo da curva aos 141 dias experimentais, segue-se uma tendência de queda e retorno a valores baixos para a relação fósforo solúvel / fósforo total.

Esta queda pode estar relacionada a fatores físico-químicos e biológicos, pela diferenciação da relação das velocidades de solubilização e imobilização, que ao nosso ver parece perfeitamente admissível, uma vez que a partir dos 141 dias experimentais, a intensidade de decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo diminui, como poderá ser visto nas Figuras 16 e 17 da Biomassa Microbiana, e Figuras

14 e 15 da Respiração do solo, evidenciando uma taxa de solubilização menor, de acordo com as Figuras de depleção 9, 10, 11, 12 e 13.

Esta diminuição do fósforo solúvel no solo com o tempo apresenta também uma relação com o fósforo retirado pelas plantas de milho, que, apesar de não ter sido estimada no presente trabalho, se situa em média nos 77,7 Kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para uma produção de 6240 kg/ha ( MUZILLI e OLIVEIRA, 1982 ).

Os dados referentes ao fósforo solúvel / fósforo total e Figuras de depleção para a extração com a Resina, não são apresentados no presente trabalho, devido a variabilidade apresentada pelos resultados, impossibilitando qualquer tipo de análise mais precisa.

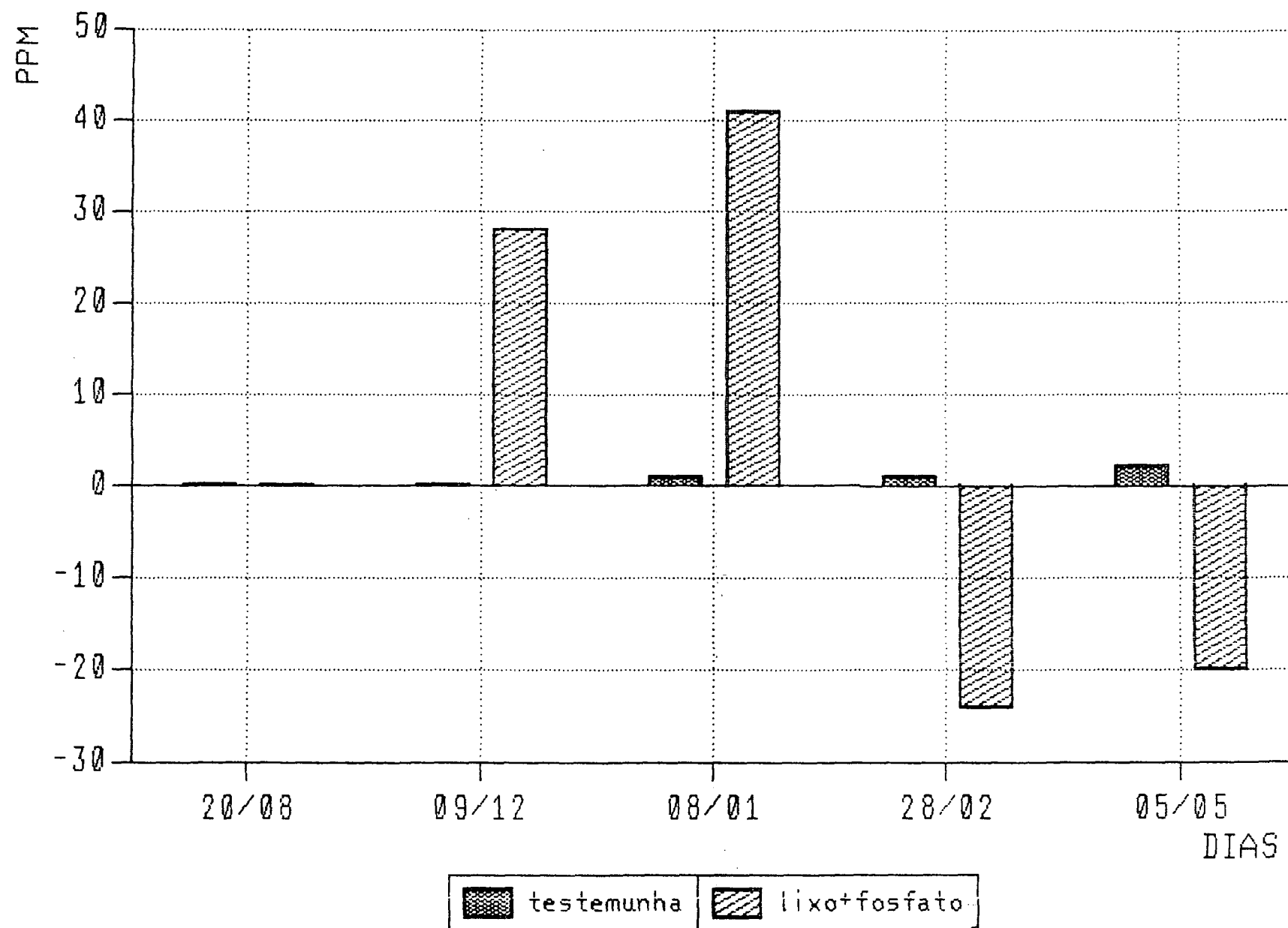


Figura 9: Diferenças da Evolução do Fósforo Solúvel (ppm) na Cultura do Milho  
Tratamento com Lixo+Fósforo X Testemunha

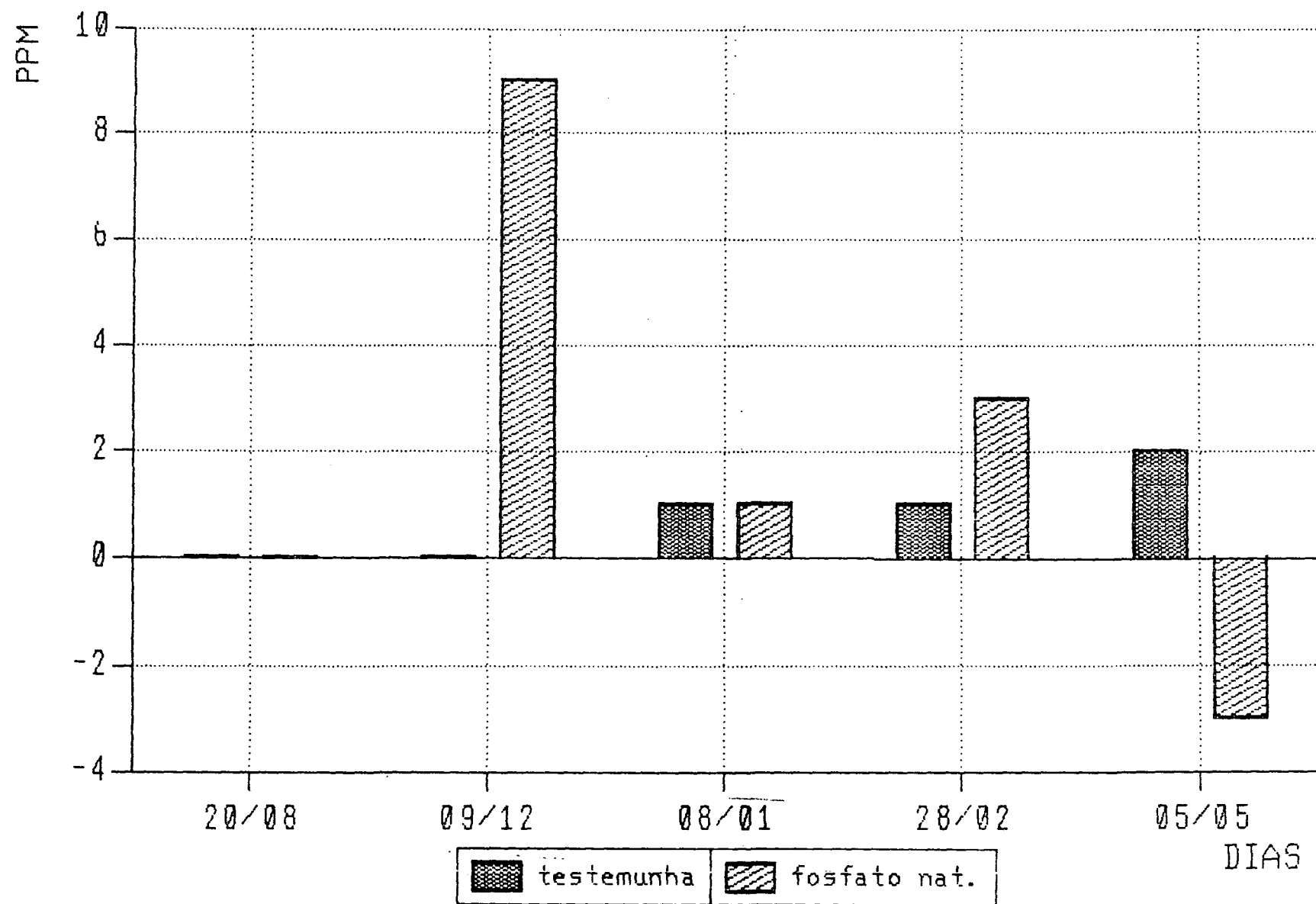


Figura 10: Diferenças da Evolução do Fósforo Solúvel (ppm) na Cultura do Milho Tratamento com Fosfato Natural X Testemunha

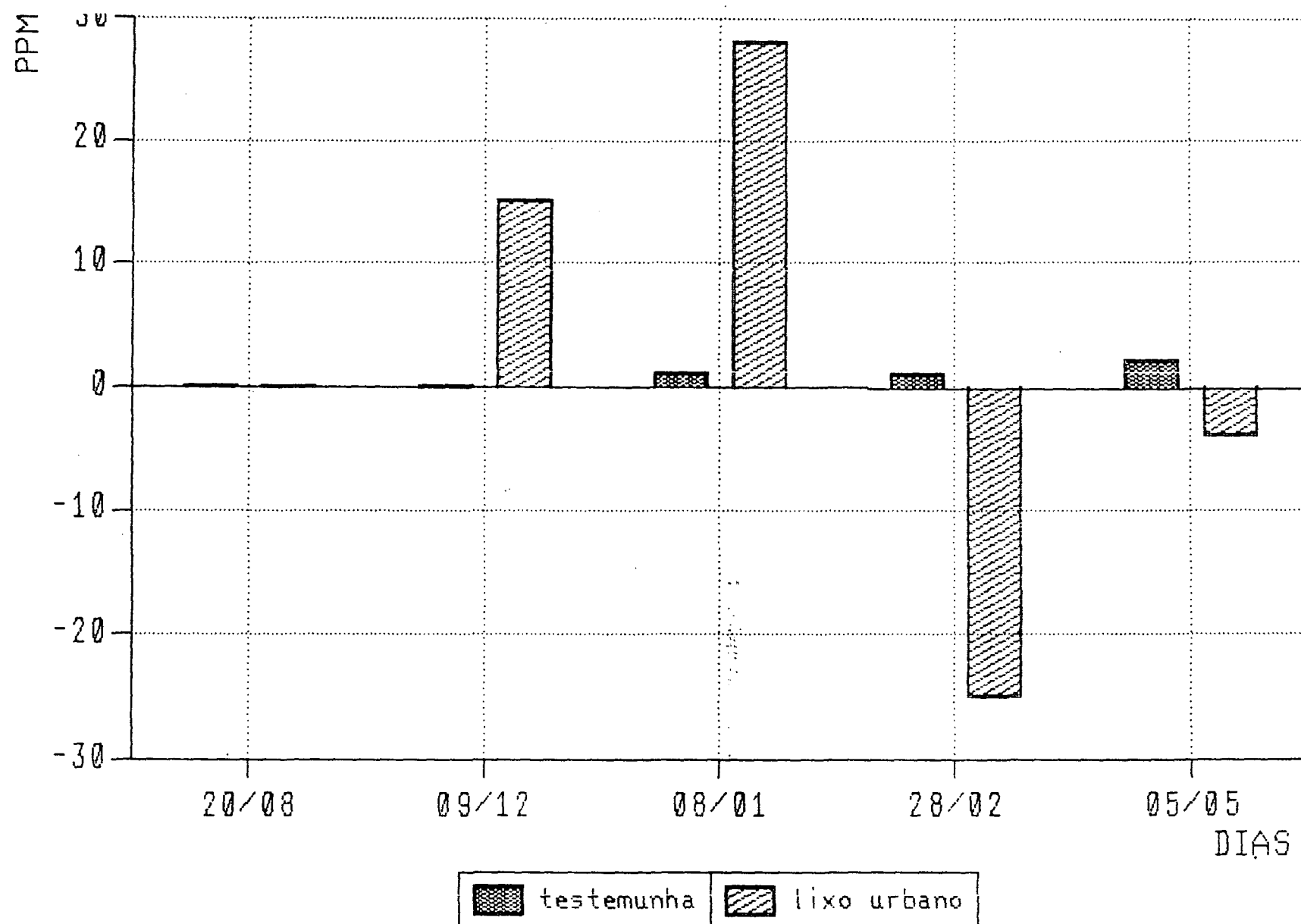


Figura 1.1: Diferenças da Evolução do Fosforo Solúvel (ppm) na Cultura do Milho  
Tratamento com Lixo Urbano X Testemunha

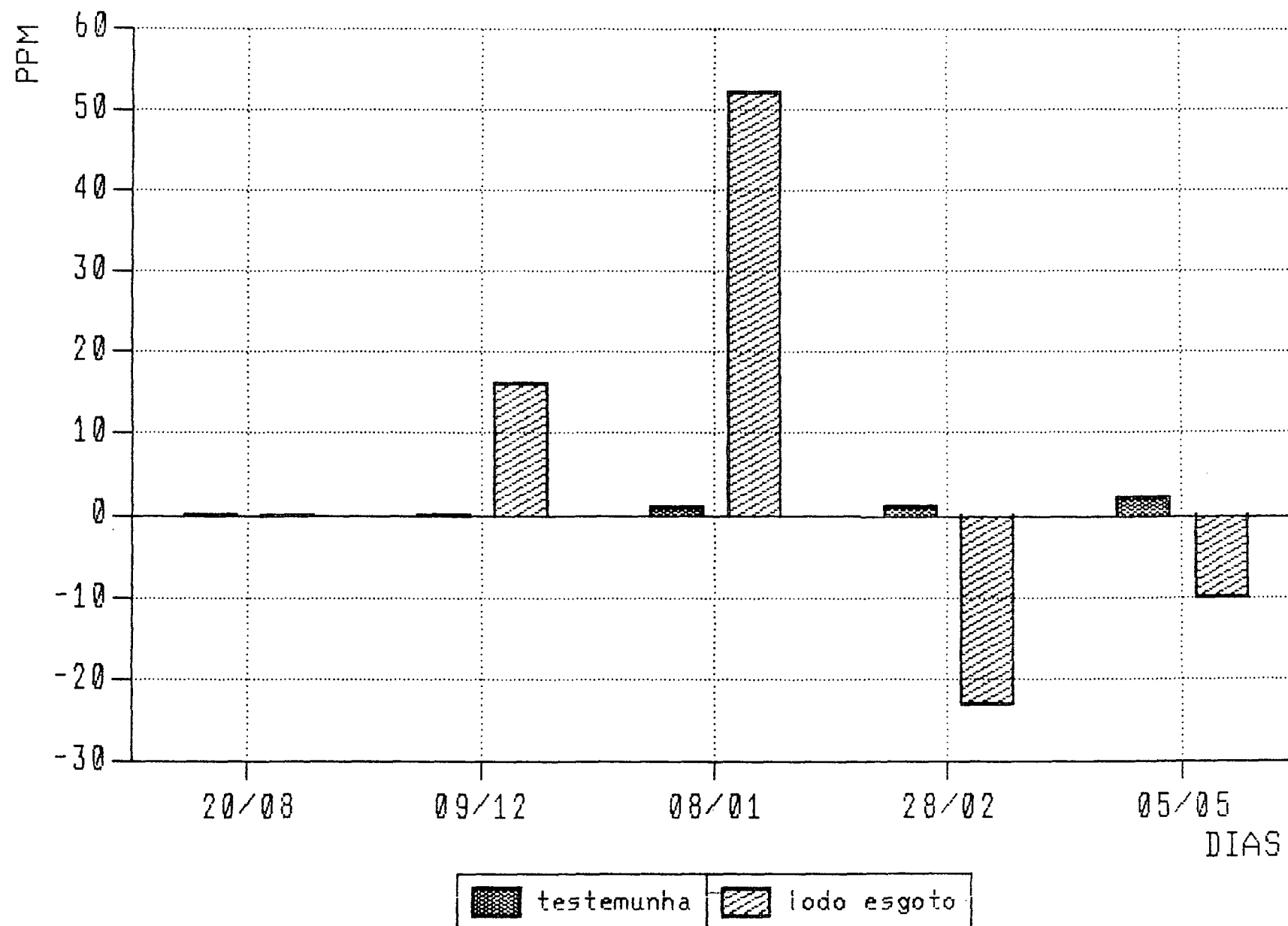


Figura 12: Diferenças da Evolução do Fósforo Solúvel (ppm) na Cultura do Milho Tratamento com Lodo Esgoto X Testemunha

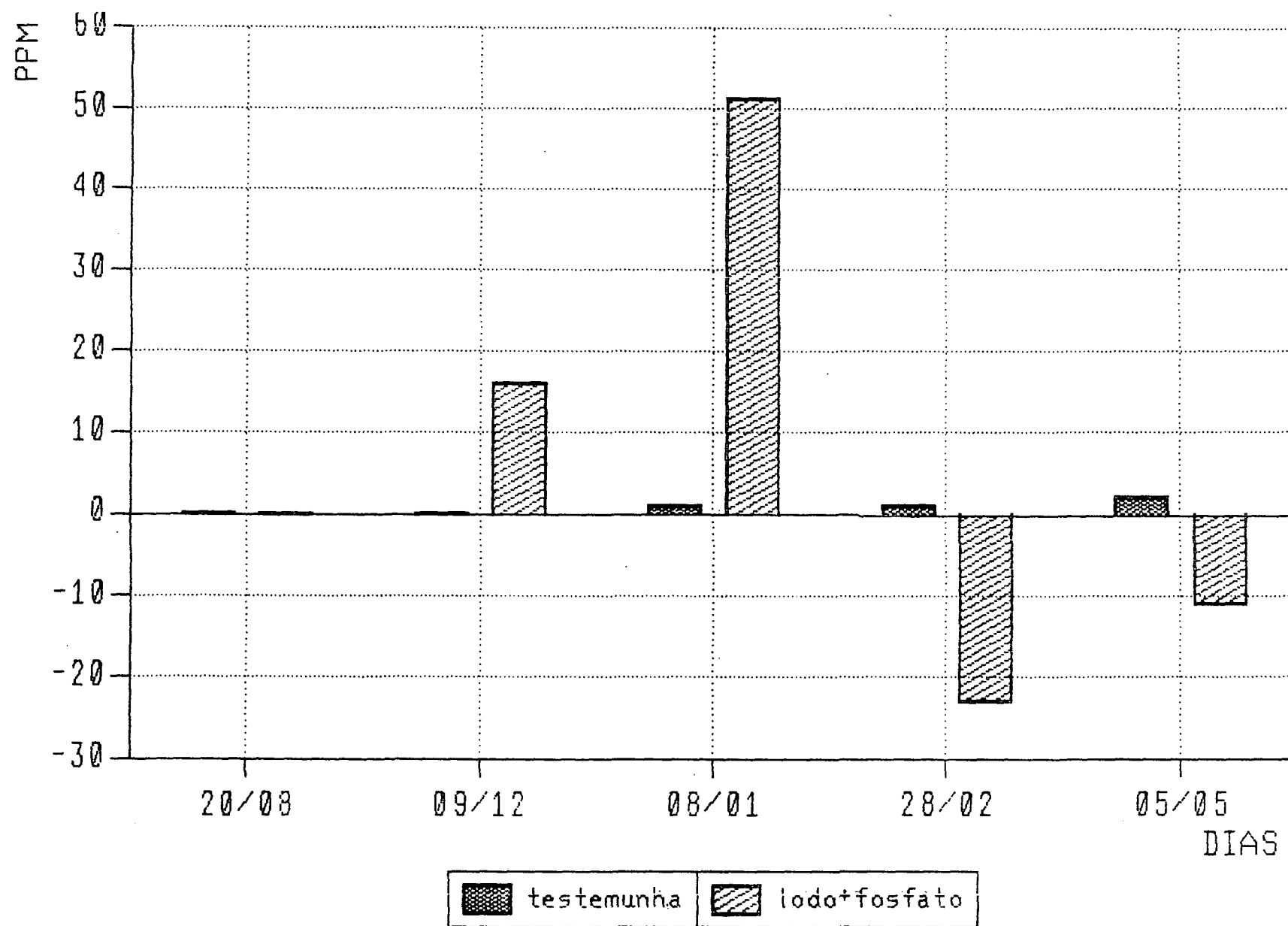


Figura 13: Diferenças da Evolução do Fósforo Solúvel (ppm) na Cultura do Milho  
Tratamento com Lodo+Fosfato X Testemunha

#### 4.6. RESPIRAÇÃO DO SOLO.

A evolução da taxa de respiração no solo entre os tratamentos nos 259 dias experimentais é demonstrada pelas Figuras 14 e 15.

As taxas de respiração são semelhantes para os tratamentos com fosfato natural e lodo de esgoto em relação a testemunha, apresentando uma evolução entre zero e 141 dias, decrescendo até 192 dias, com uma tendência de evolução até os 259 dias experimentais.

O tratamento com lodo de esgoto, mostrou uma leve tendência de superioridade a partir dos 141 dias experimentais, quando a respiração situava-se nos 184 mg CO<sub>2</sub> /100g solo.

O tratamento somente com composto de lixo urbano, foi superior aos demais tratamentos na taxa de respiração do solo nos 259 dias experimentais, observando-se uma taxa de



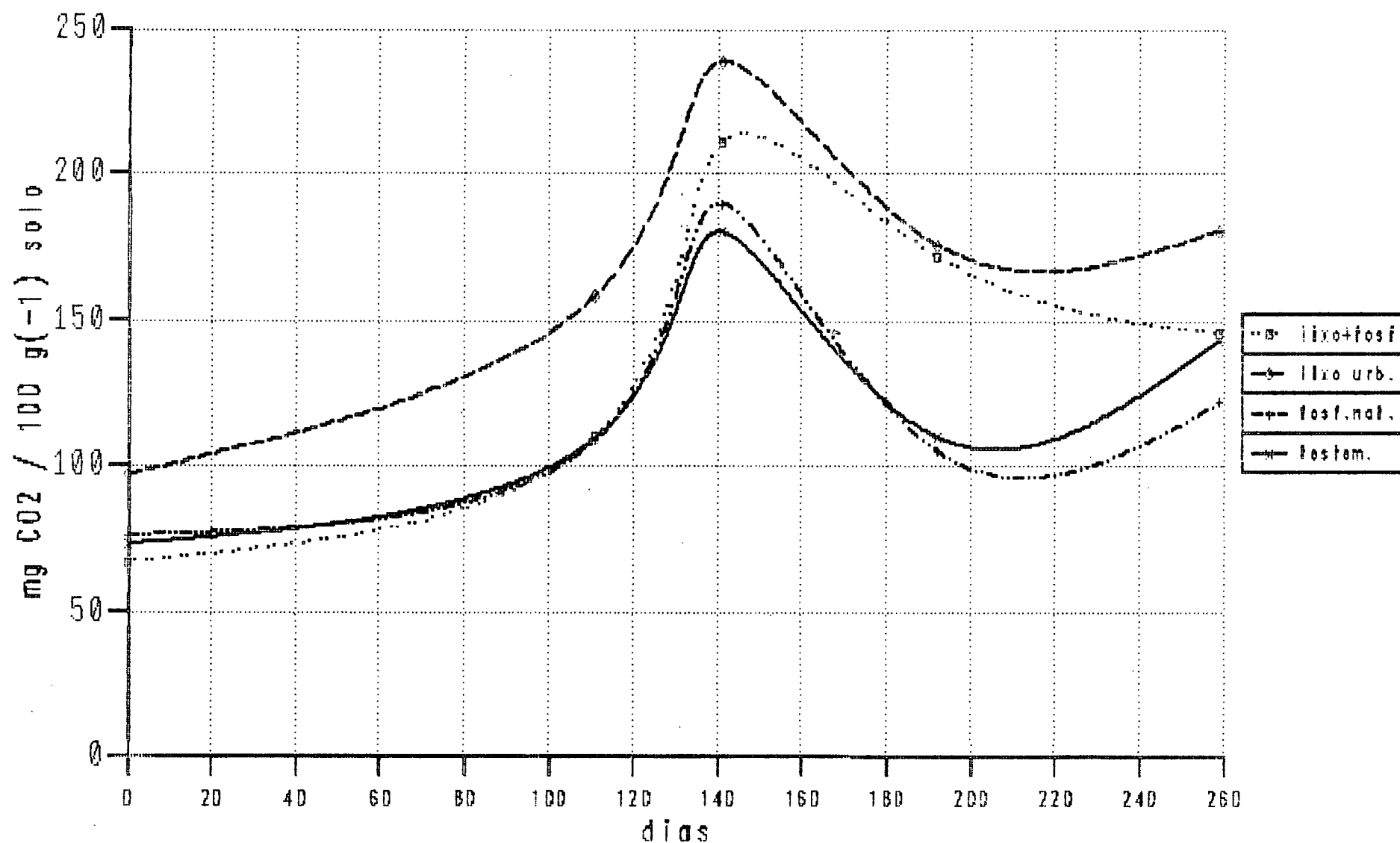


Figura 14 : Evolucao da taxa de respiracao no solo entre Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat.

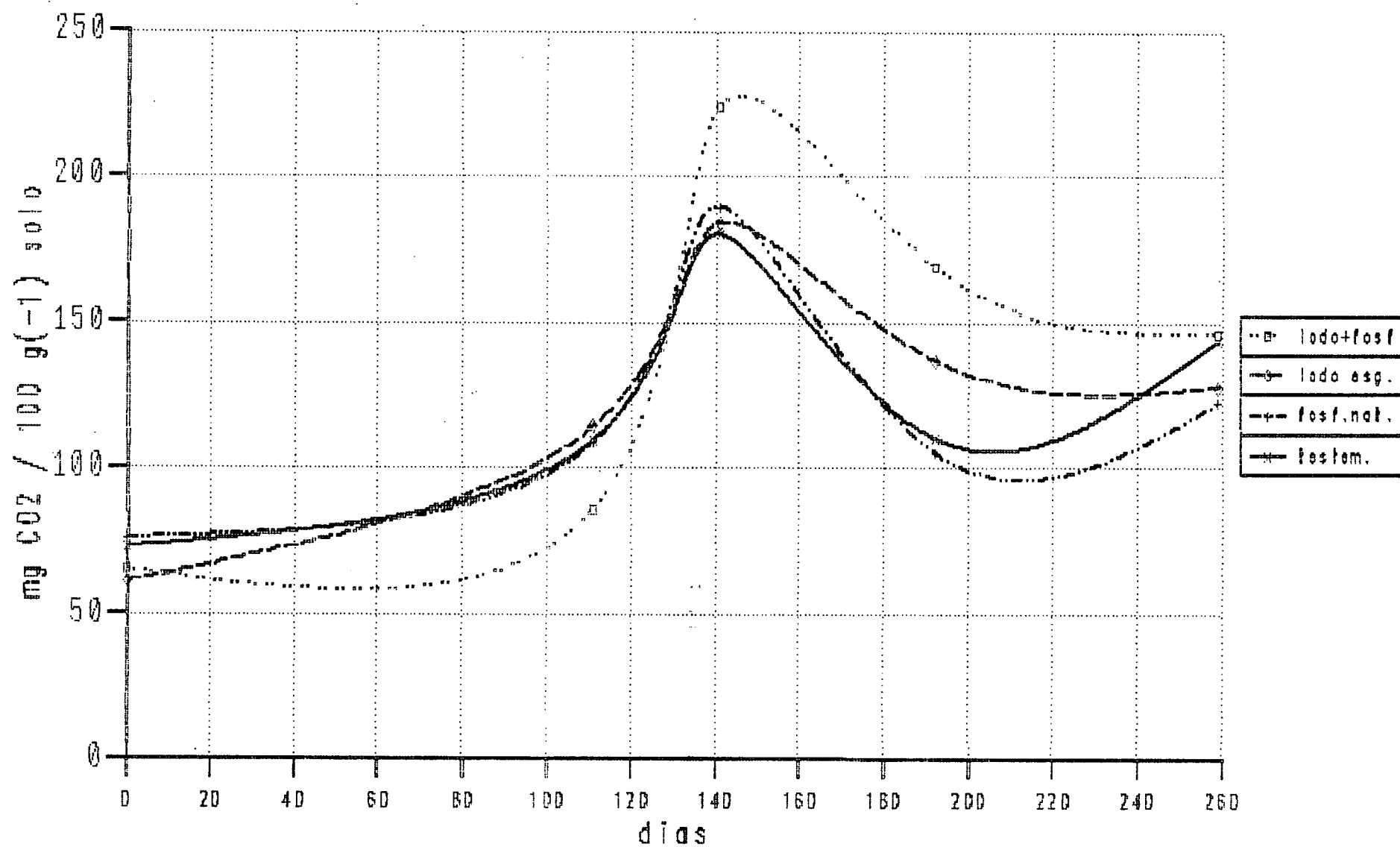


Figura 15 : Evolucao da taxa de respiracao no solo entre Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat.

97,0 mg  $\text{CO}_2$  / 100g solo aos 0 dias; 158,5 aos 111 dias; 238,7 aos 141 dias; 175,7 aos 192 dias e 180,7 aos 259 dias.

Evoluções semelhantes ocorreram para os tratamentos com composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, que apresentaram um pico na taxa de respiração aos 141 dias de 210,9 e 223,8 mg  $\text{CO}_2$  / 100g solo, em relação aos 67,0 e 65 mg  $\text{CO}_2$  / 100g solo aos zero dias experimentais e 145,0 mg  $\text{CO}_2$  / 100g solo para os 259 dias.

A inversão da taxa de respiração do tratamento com composto de lixo urbano em relação ao composto de lixo urbano mais fosfato natural, pode não ser real, no entanto o composto de lixo urbano mais fosfato natural e o lodo de esgoto mais fosfato natural, tendem a ser superiores na taxa de liberação de  $\text{CO}_2$  em relação a testemunha e o fosfato natural no período entre 111 dias e 259 dias experimentais.

Estes dados de uma maneira geral, correspondem com os dados climáticos da Tabela 3, com o aumento da temperatura e a presença de chuvas com maior intensidade, estimulando a atividade respiratória microbiana. Estas evidências, são

descritas por DOMMERGUES (1970); ALEXANDER (1980), CASSINI (1986) e ROSS *et alii* (1984).

As curvas da taxa de respiração no solo, apresentam correlação com as curvas da cinética de solubilização do fósforo no solo (Figuras 3 e 4) aos 141 dias experimentais, para todos os tratamentos com exceção da testemunha, conforme as Tabelas 18 a 23. Os tratamentos com composto de lixo urbano e lodo de esgoto mais fosfato natural apresentaram as maiores taxas de respiração neste período.

#### 4.7. BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

A evolução da estimativa da Biomassa C, está demonstrada nas figuras 16 e 17.

Os resultados evidenciam que praticamente não houve variação no comportamento das curvas entre os tratamentos com fosfato natural, testemunha e lodo de esgoto, sendo observado para os mesmos um pico na formação de Biomassa de C nos 192 dias experimentais, com 75,6, 68,4 e 64,3 mg C / 100g solo respectivamente, tendendo a um decréscimo entre 192 e 259 dias.

Resultados semelhantes ocorreram para o tratamento com composto de lixo urbano e composto de lixo urbano mais fosfato natural, pela formação de Biomassa C aos 192 dias de 57,2 e 50,0 mg C / 100g solo respectivamente, não apresentando tendência de decréscimo como nos outros tratamentos, pois aos 259 dias experimentais a Biomassa C manteve-se em 64,2 e 58,4 mg C / 100g solo, respectivamente para os mesmos.

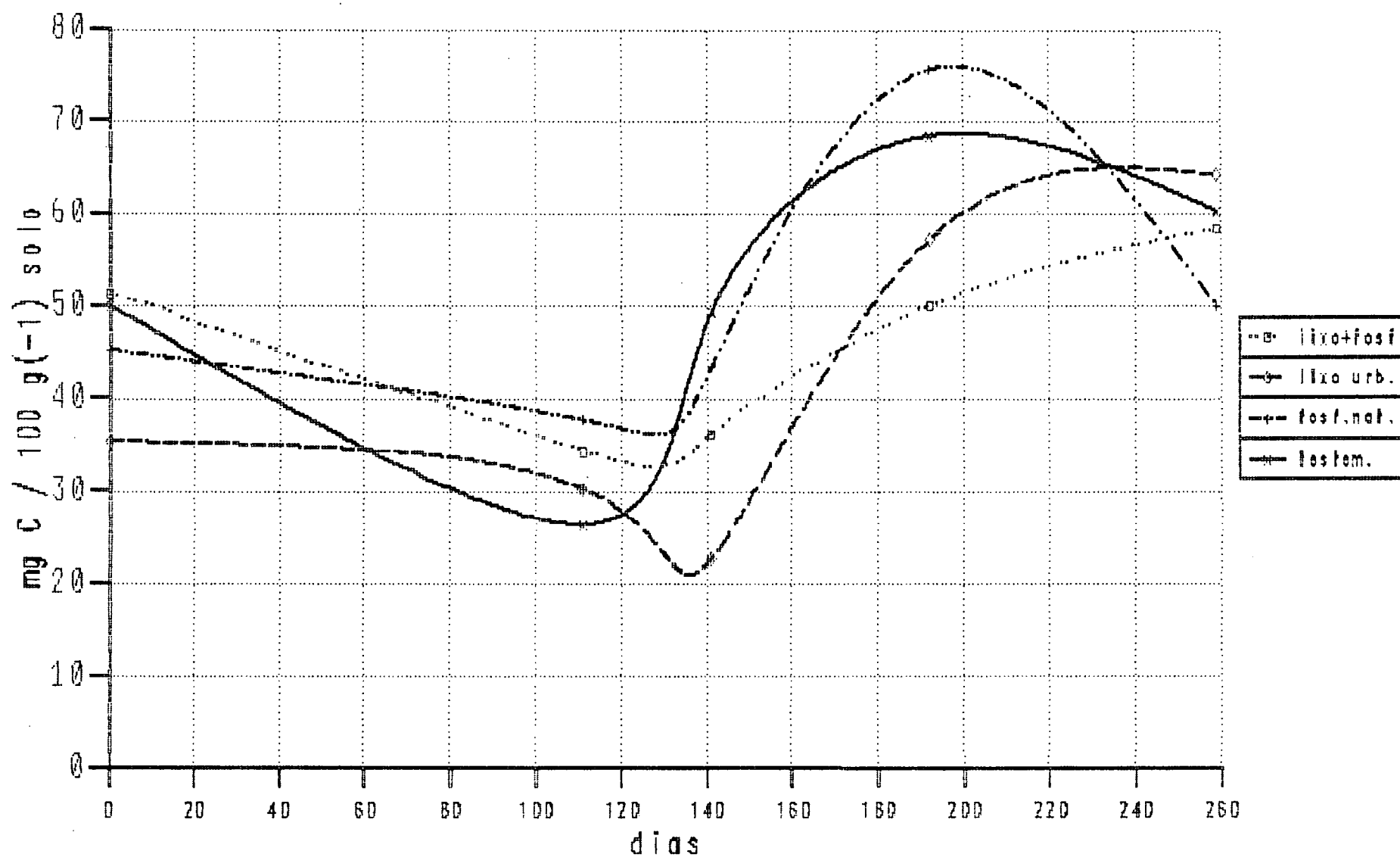


Figura 16 : Evolucao da Estimativa da Biomassa C no solo entre Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat.

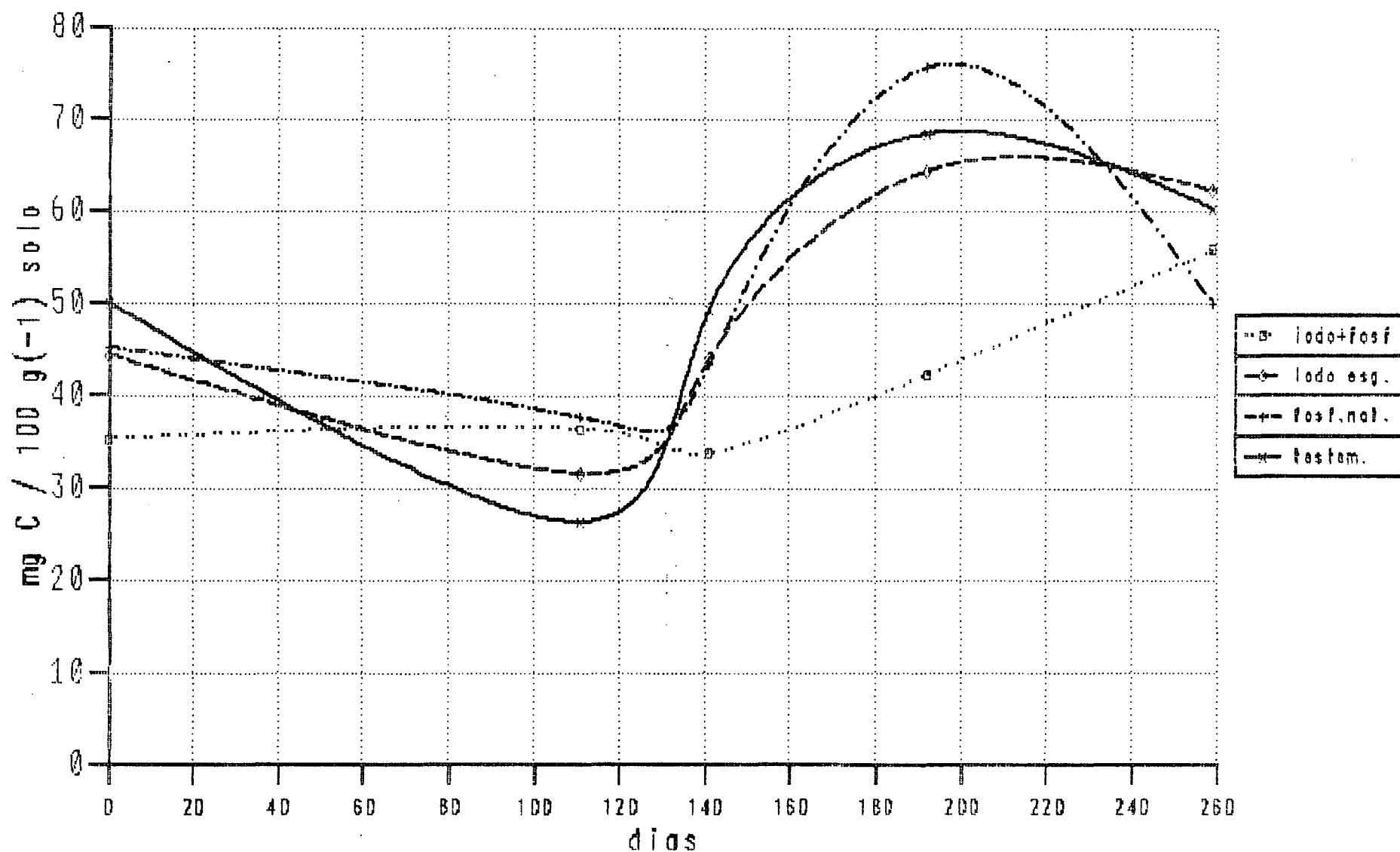


Figura 17 : Evolucao da Estimativa da Biomassa C no solo entre Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat.

Os dados obtidos com a Biomassa C, provavelmente estão associados aos fatores climáticos de precipitação e temperatura (Tabela 3), visto que no período compreendido entre zero e 111 dias experimentais, a Biomassa C sofreu redução para todos os tratamentos, coincidindo com o período de estiagem.

A partir dos 141 dias, começaram as chuvas com maior intensidade e frequência, com a Biomassa C apresentando recuperação para todos os tratamentos. A evolução da Biomassa C está, para alguns tratamentos, relacionada com a cinética de solubilização do fósforo, descrita no item 4.4 e Tabelas 18 a 23.

Em comparação com a taxa de respiração, descrita no item 4.6., verifica-se que o ponto de inflexão das curvas, a exceção do tratamento com composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, acompanham o ponto de inflexão da Biomassa C, e o ponto máximo de depleção (Figuras 9, 10, 11, 12, e 12), correspondente as curvas de solubilização do fósforo no solo.



O ponto máximo das taxas de respiração (Figuras 14 e 15) observado aos 141 dias, corresponde a velocidade máxima de incremento da Biomassa C (Figuras 16 e 17) observada aos 141 e 192 dias, que por sua vez corresponde a taxa máxima de solubilização de fosfato (Figuras 3 e 4) aos 141 dias, para os tratamentos que receberam adição de composto de lixo urbano e lodo de esgoto.

As constatações anteriores estão de acordo com os trabalhos de DOMMERGUES (1970); ALEXANDER (1980) e WAKSMAN (1963). Outrossim, os resultados obtidos com a Biomassa C, através da metodologia de fumigação, estão de acordo com os trabalhos de MINHONI e CERRI (1987); BROOKES et alii (1986); MULONGOY (1986); MARTIN (1986); SPARLING e WILLIAMS (1986); GRANT (1986); SORENSEN (1986); MARTENS (1986); CHAPMAN (1987); CRISTIE e BEATTIE (1986 e 1987), SHEN SHAN-MIN et alii (1986) e POWLSON e BROOKES (1986).

#### 4.8. POPULAÇÃO FÚNGICA TOTAL E SOLUBILIZADORES DE FOSFATO

As Figuras 18 e 19, mostram a evolução do número de fungos totais no solo. Observa-se que para todos os tratamentos, até os 111 dias experimentais, a população fúngica total não apresentou variações. Esta evidência poderá estar relacionada aos aspectos climáticos, visto que neste período ocorreu uma prolongada estiagem, como mostra a Tabela 3.

Praticamente todos os tratamentos apresentaram um aumento na população fúngica total, a partir dos 192 dias, passando de 5, 8, 5, 11, 33 e 29 mil / g solo, para 45, 23, 22, 81, 37 e 63 mil / g solo, repectivamente para os tratamentos: testemunha, fosfato natural, lixo urbano, lodo de esgoto, composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural.

Este aumento na população fúngica total, provavelmente está relacionado à disponibilidade de matéria orgânica para o metabolismo microbiano, e as condições da

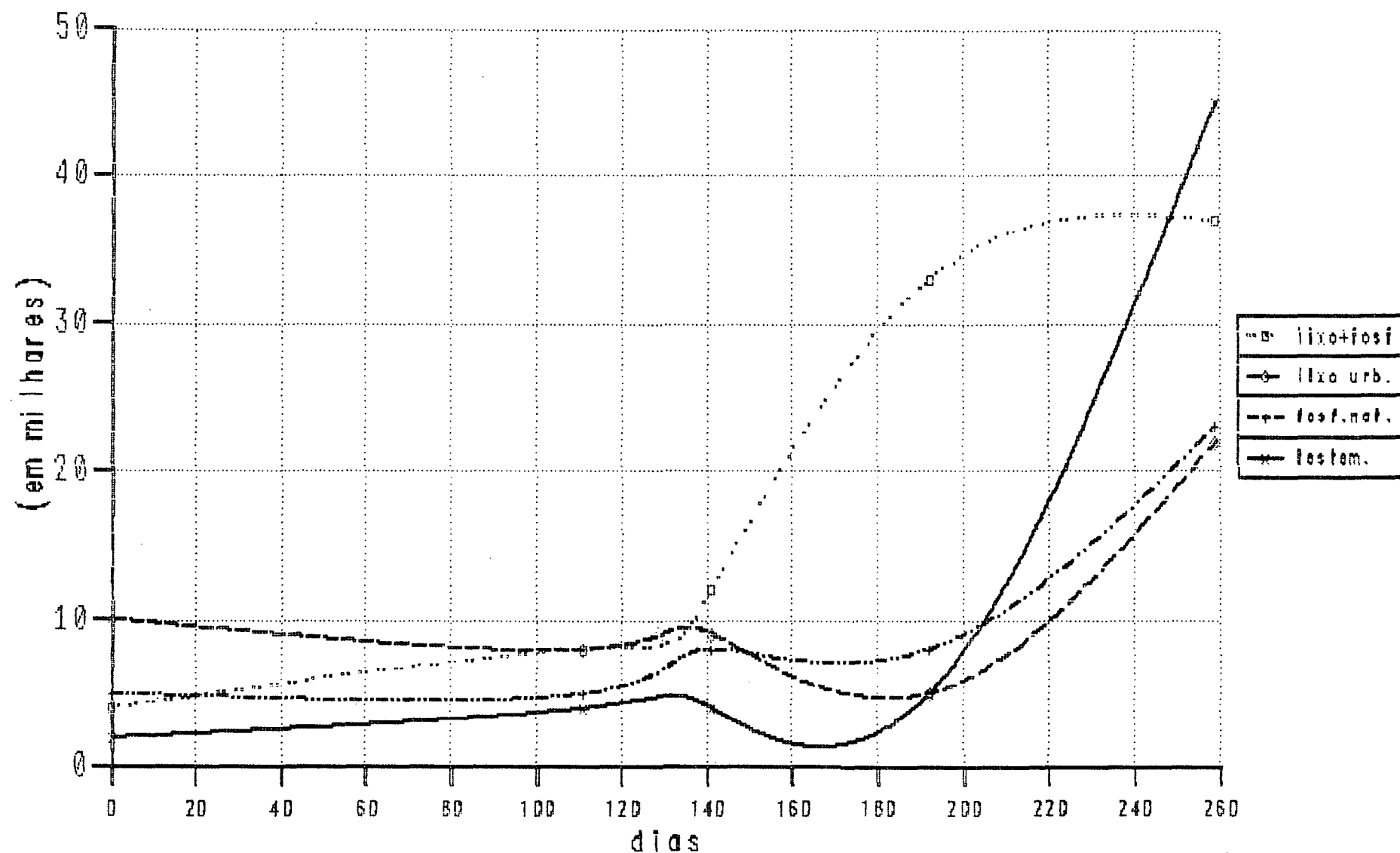


Figura 18 : Evolucao do numero de Fungos Totais por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat.

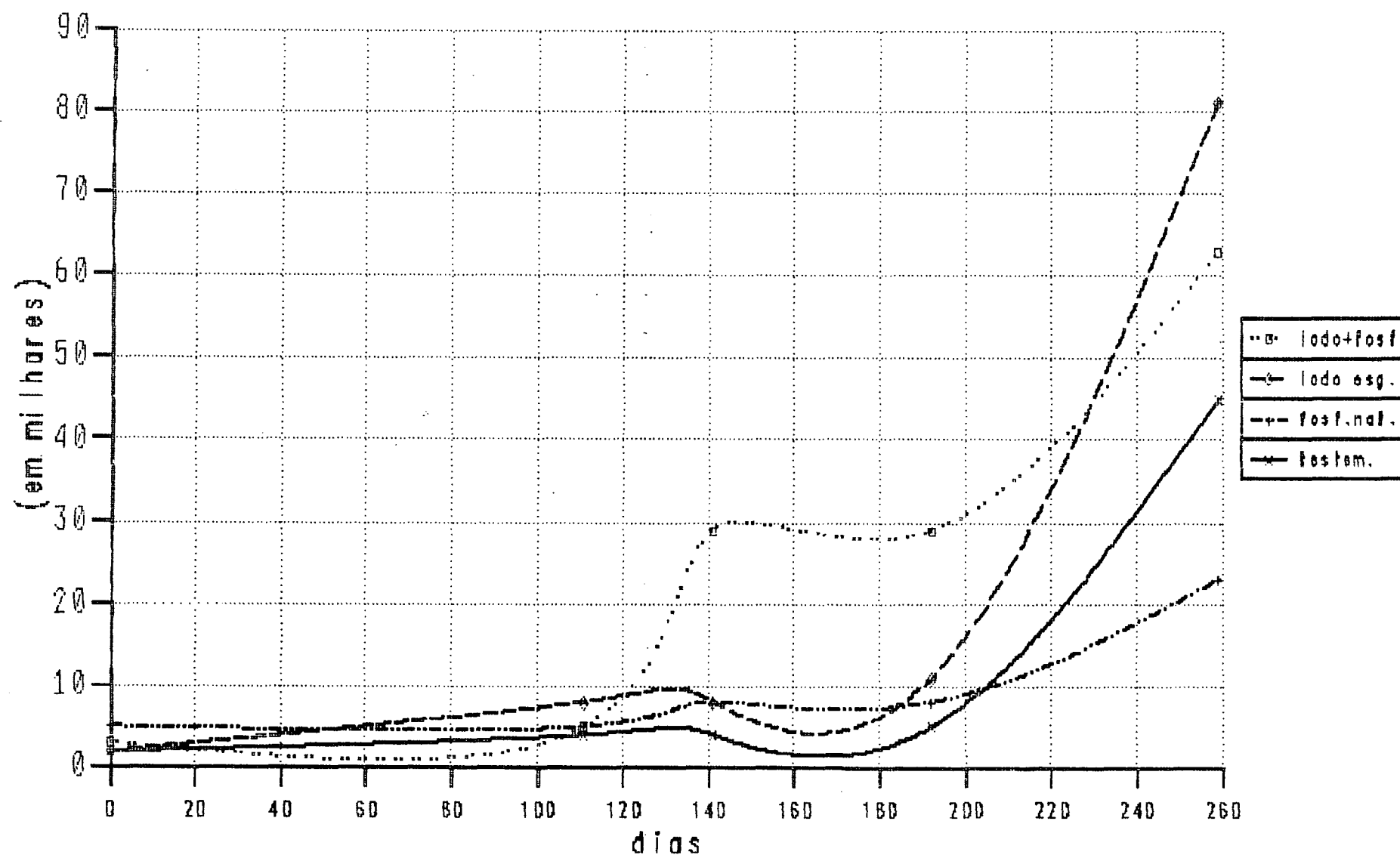


Figura 19 : Evolucao do numero de Fungos Totais por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat.

disponibilidade de fósforo no solo (Figuras 3 e 4) como fatores limitantes.

Para os tratamentos com composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, observa-se uma tendência de aumento na população fúngica total aos 192 dias experimentais, podendo estar relacionado a interação do fosfato natural com o composto orgânico adicionado ao solo.

Quando se analisa a evolução do número de fungos solubilizadores (Figuras 20 e 21), verifica-se que a população de solubilizadores acompanha de uma maneira geral a população fúngica total (Figuras 18 e 19), com a relação população fúngica solubilizadora / população fúngica total (Figuras 22 e 23), praticamente pouco se alterando ao longo dos 259 dias experimentais.

Os tratamentos com composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, apresentam o mesmo comportamento, apesar de que qualitativamente, a população tanto para os solubilizadores quanto para o total, foi maior para o tratamento com composto de lixo urbano.

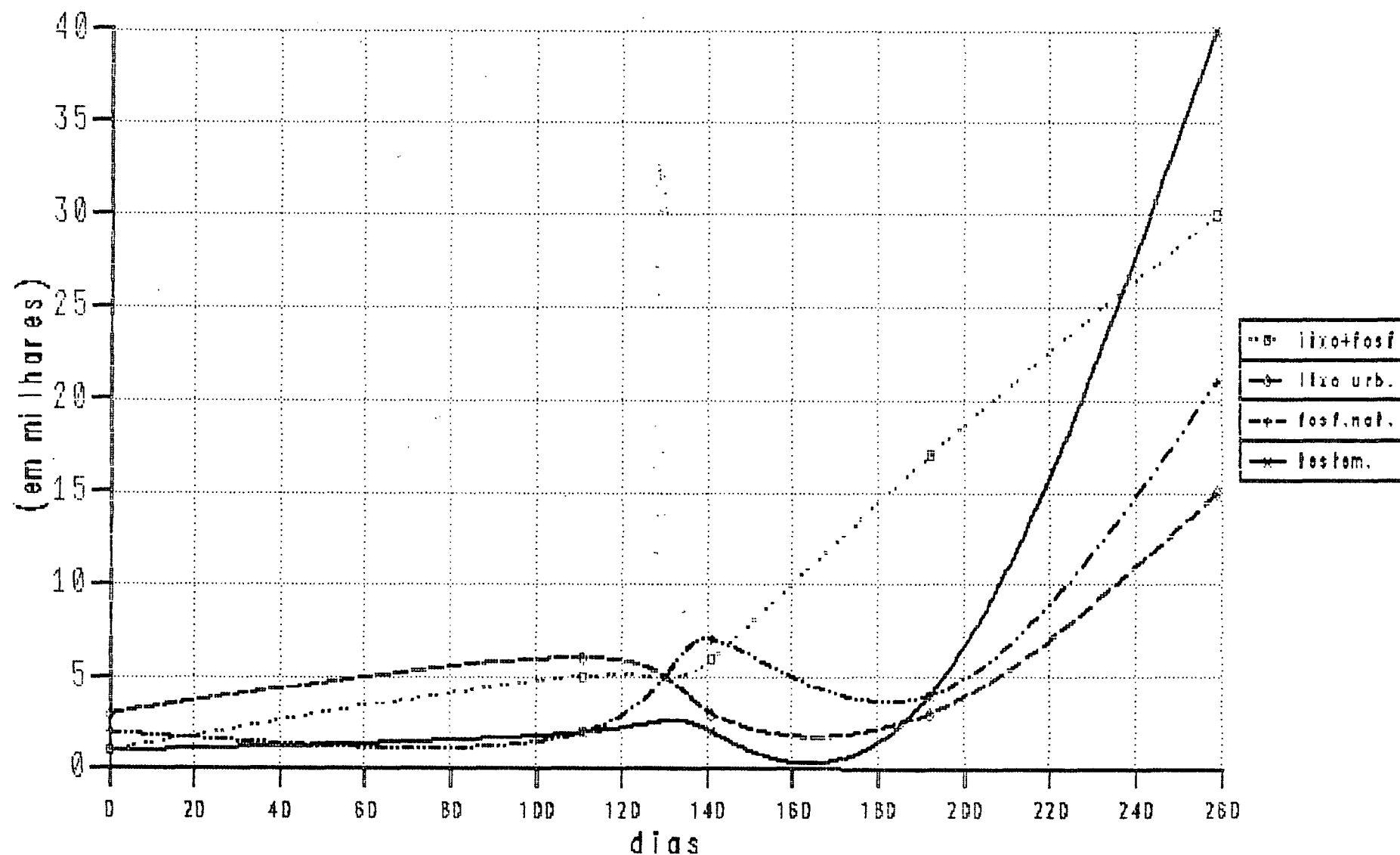


Figura 20: Evolucao do numero de Fungos Solubilizadores por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat.

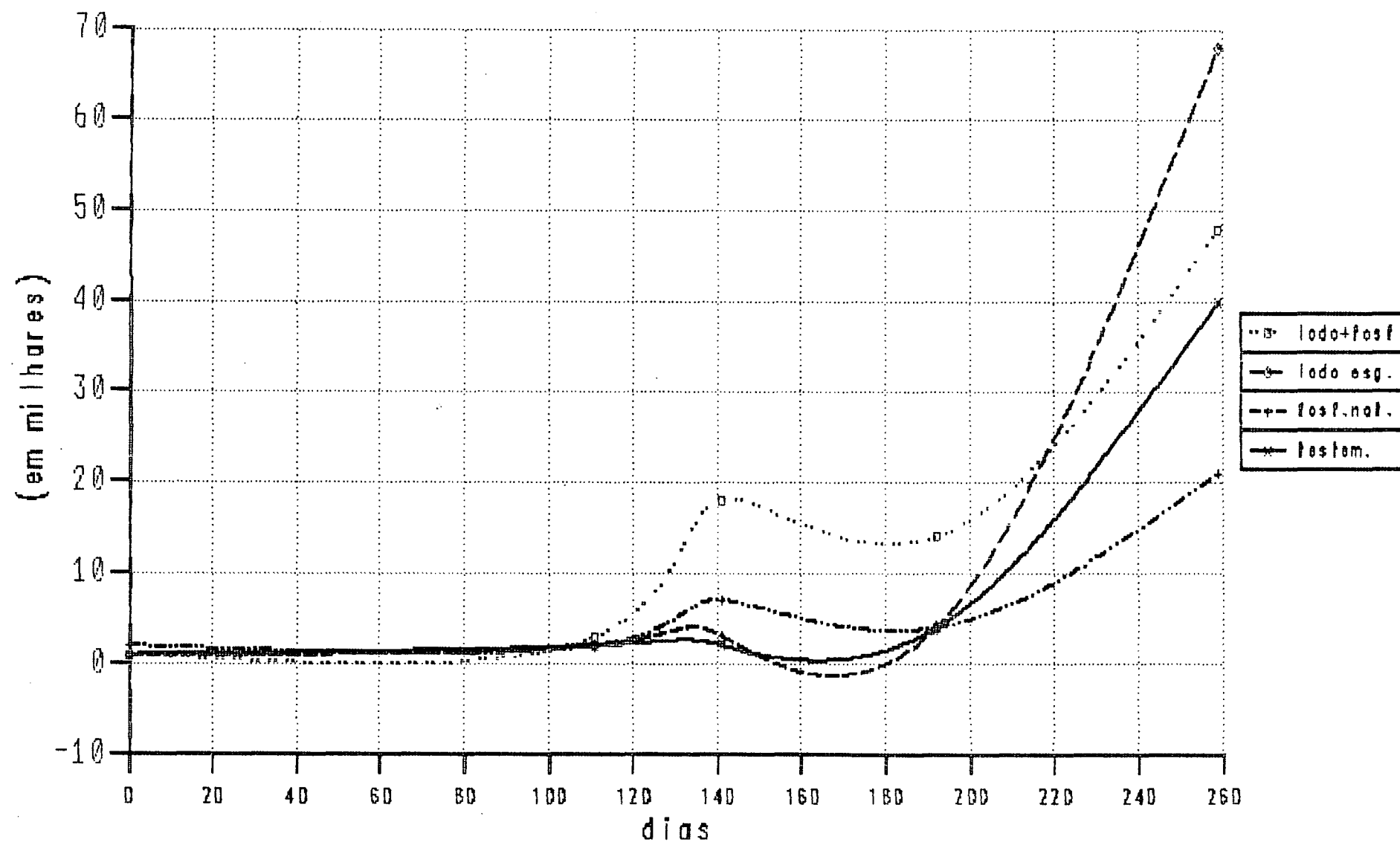


Figura 21 : Evolucao do numero de Fungos Solubilizadores por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat.

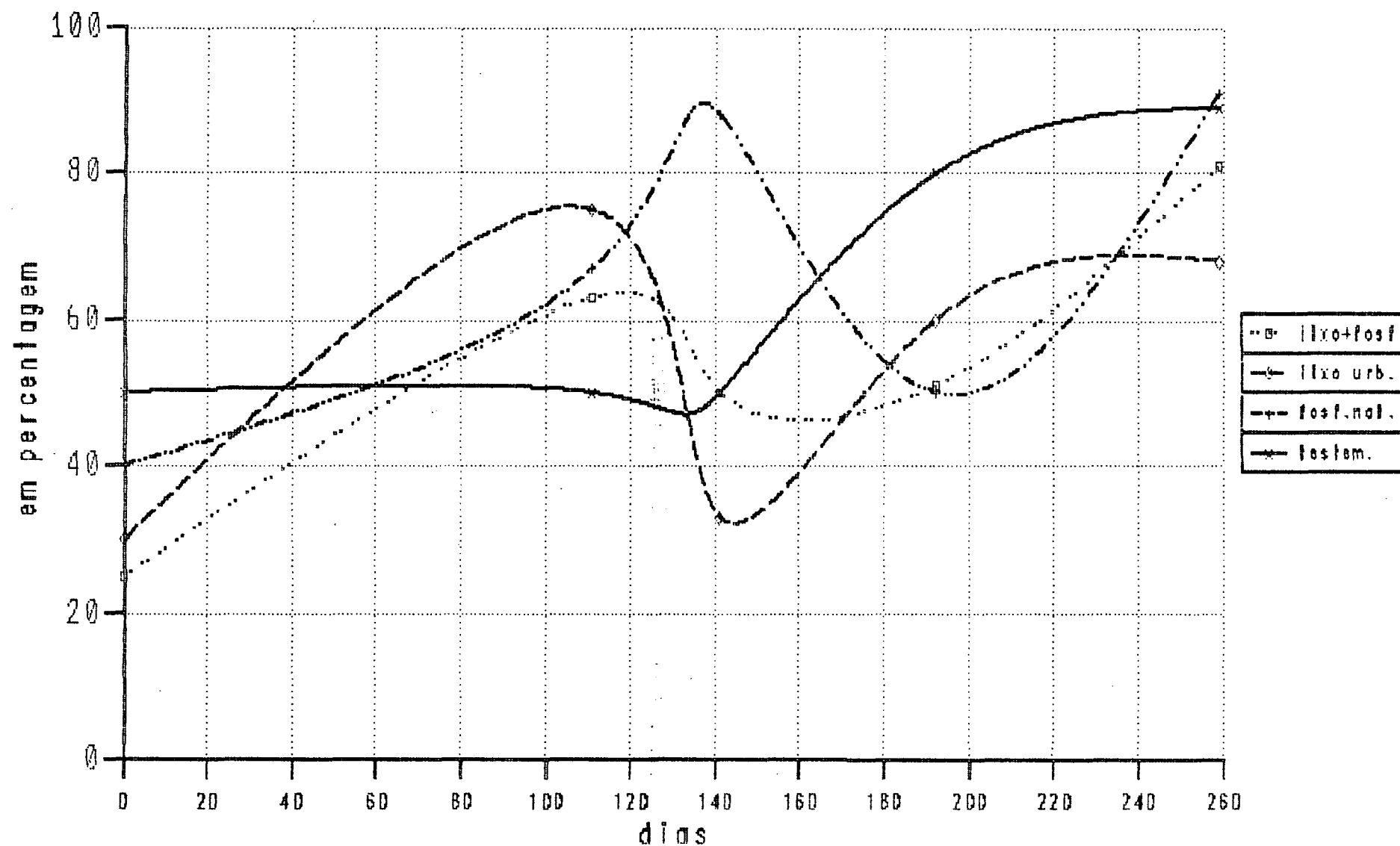


Figura 22: Relacao Fungos Solubilizadores/Fungos Totais por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat.



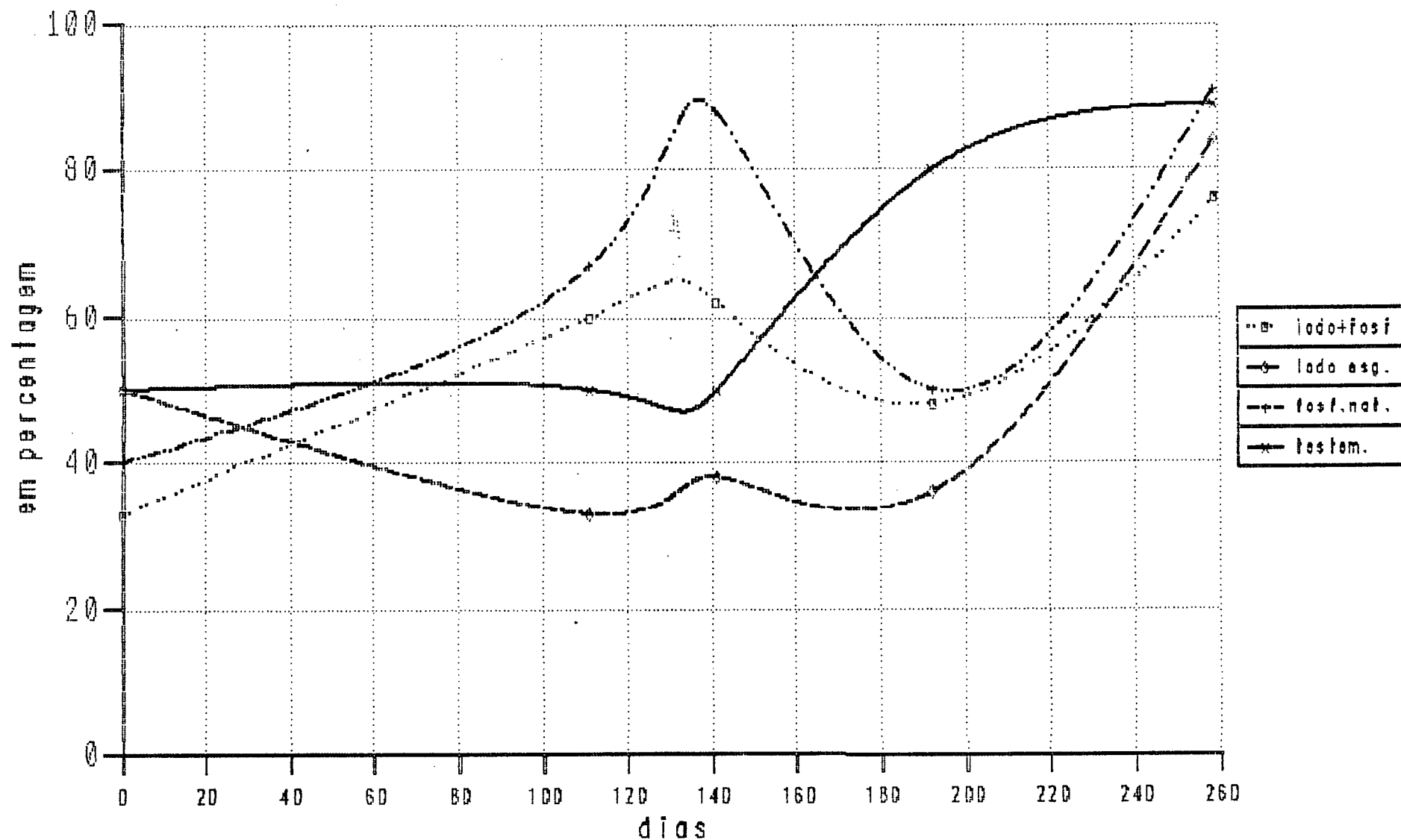


Figura 23 : Relacao Fungos Solubilizadores/Fungos Totais por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat.

#### 4.9. POPULAÇÃO BACTERIANA TOTAL E SOLUBILIZADORA DE FOSFATO.

A evolução do número de bactérias totais do solo é demonstrada pela figuras 24 e 25.

Os tratamentos que receberam composto de lixo urbano, lodo de esgoto, composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, apresentaram a mesma tendência até os 192 dias experimentais, com o número total de bactérias permanecendo estável até os 141 dias e um crescimento proporcional entre 141 e 192 dias.

Tanto o composto de lixo urbano como o composto de lixo urbano mais fosfato natural e o lodo de esgoto mais fosfato natural, mantiveram a mesma taxa de crescimento até os 259 dias, com o lodo de esgoto apresentando uma redução entre 192 e 249 dias.

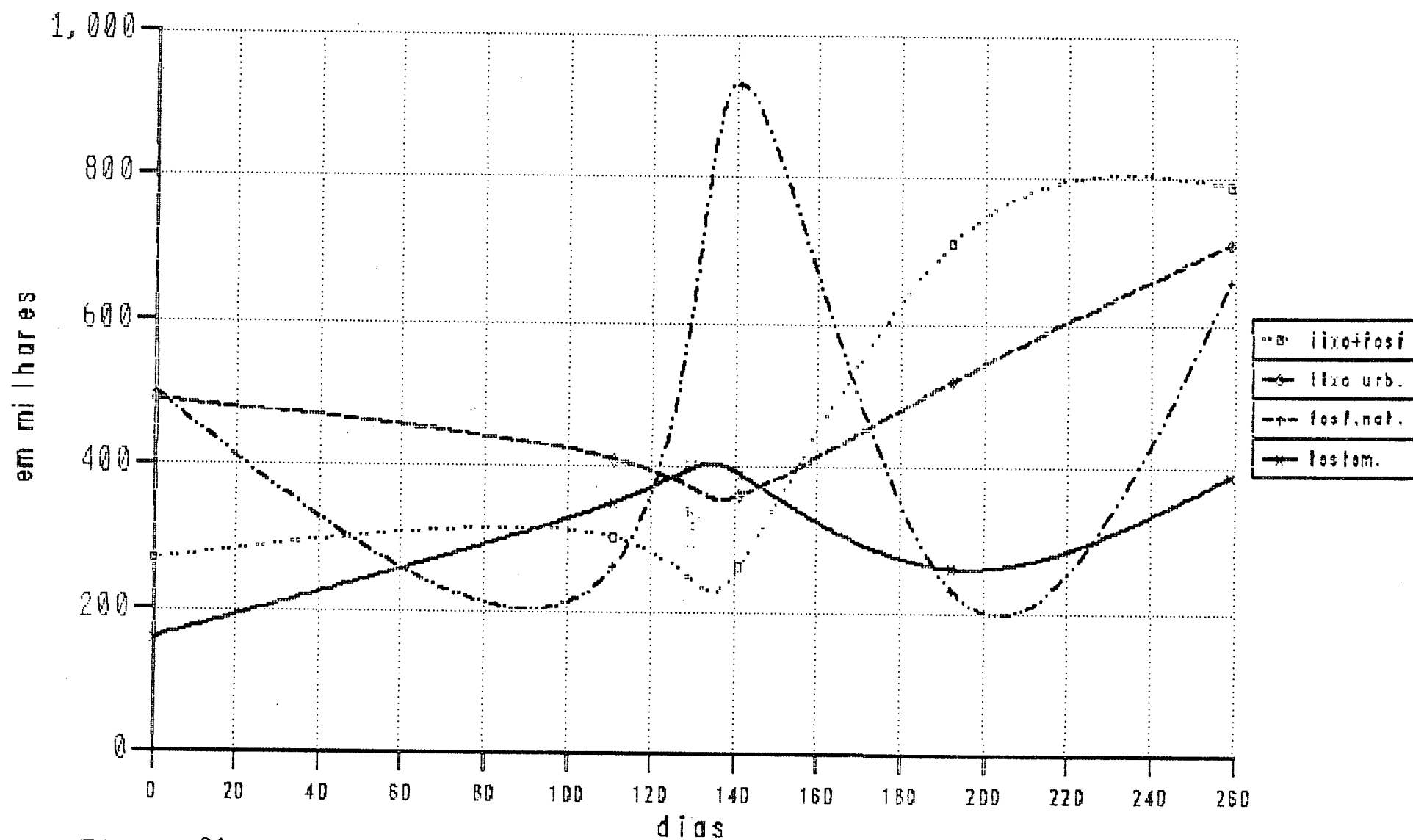


Figura 24 : Evolucao do Numero de Bacterias Totais por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat.

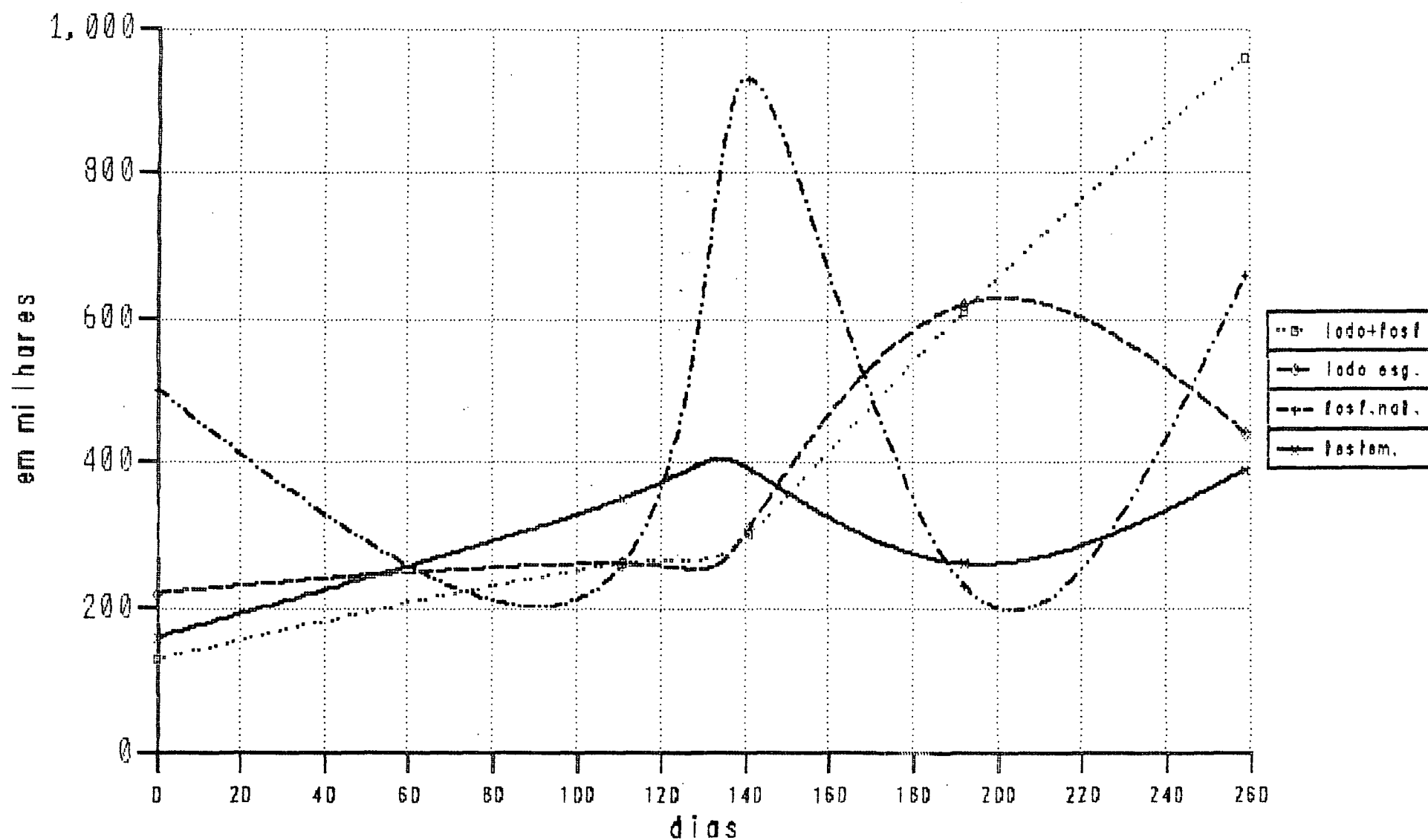


Figura 25 : Evolucao do Numero de Bacterias Totais por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat.

Todos os tratamentos mantiveram praticamente a mesma população inicial, até os 111 dias, demonstrando estar também relacionada aos fatores climáticos.

As curvas dos tratamentos que receberam compostos orgânicos apresentam certa relação com os dados de Biomassa C (Figuras 16 e 17), até os 259 dias experimentais.

A evolução das bactérias solubilizadoras, demonstrada pelas Figuras 26 e 27, apresentou a mesma tendência que as curvas obtidas para os fungos solubilizadores (Figuras 20 e 21), tendendo a uma estabilização aos 111 dias experimentais, em função provavelmente da falta de chuvas. Foi observado também um crescimento proporcional para todos os tratamentos entre os 141 e 260 dias.

Observa-se que os tratamentos com composto de lixo urbano e composto de lixo urbano mais fosfato natural, foram superiores aos tratamentos com lodo de esgoto e lodo de esgoto mais fosfato natural, sendo observada a mesma tendência para a população fúngica.

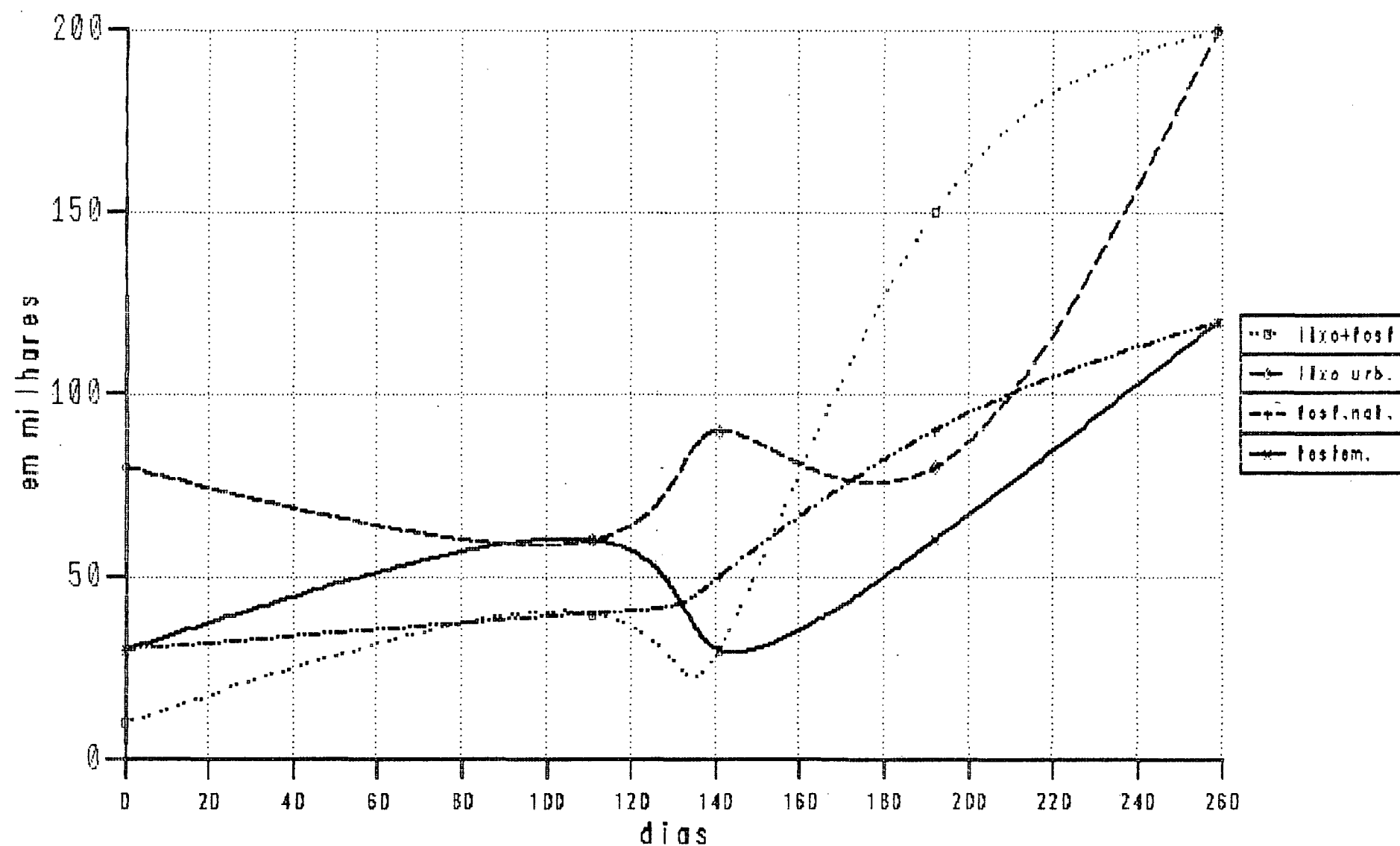


Figura 26 : Evolucao do Numero de Bacterias Solubiliz. por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat.

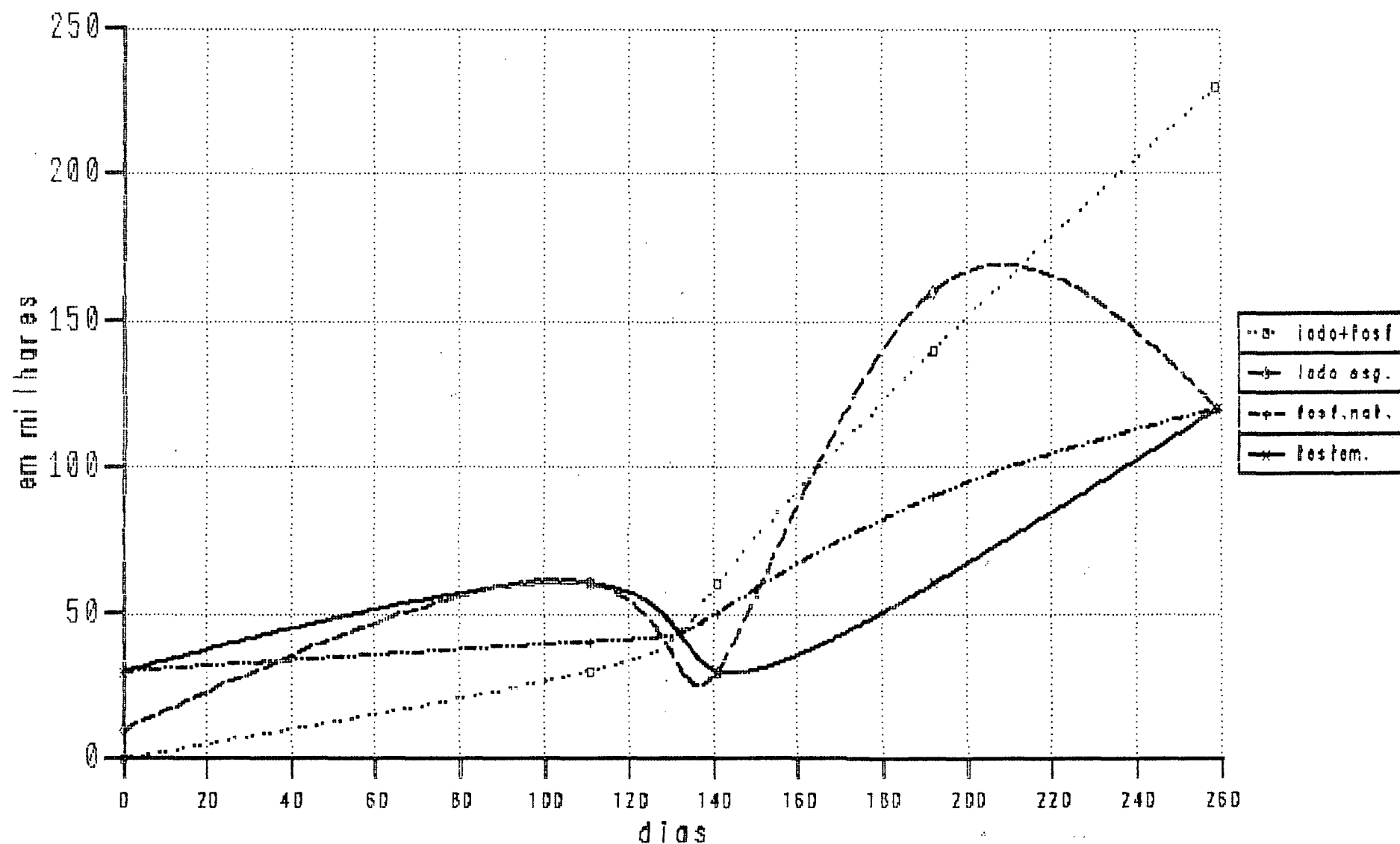


Figura 27 : Evolucao do Numero de Bacterias Solubiliz. por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo Esg+Fosf.Nat.

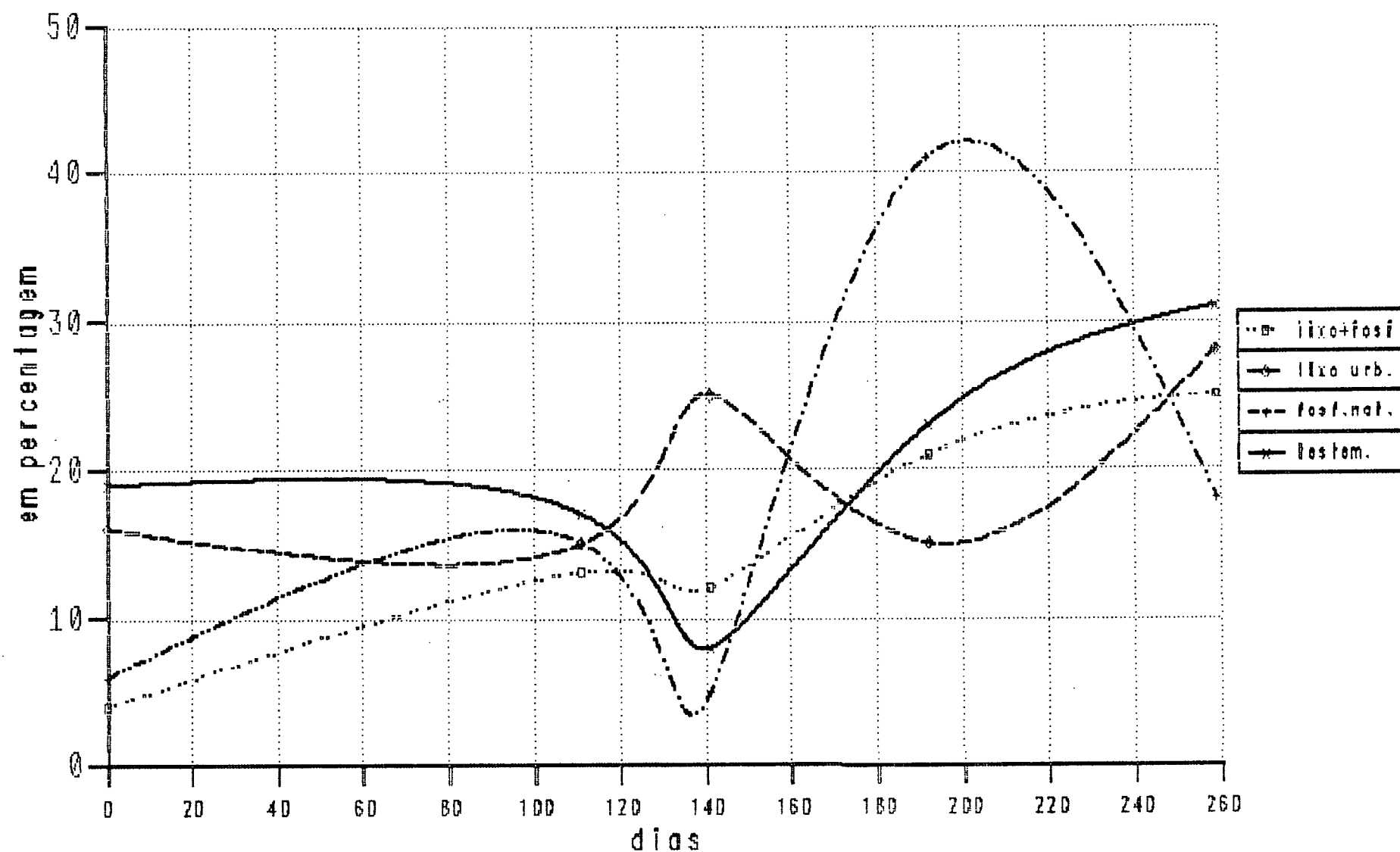


Figura 28 : Relacao Bacterias Solubiliz./Bacterias Totais per grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lixo Urb. e Lixo Urb+Fosf.Nat.



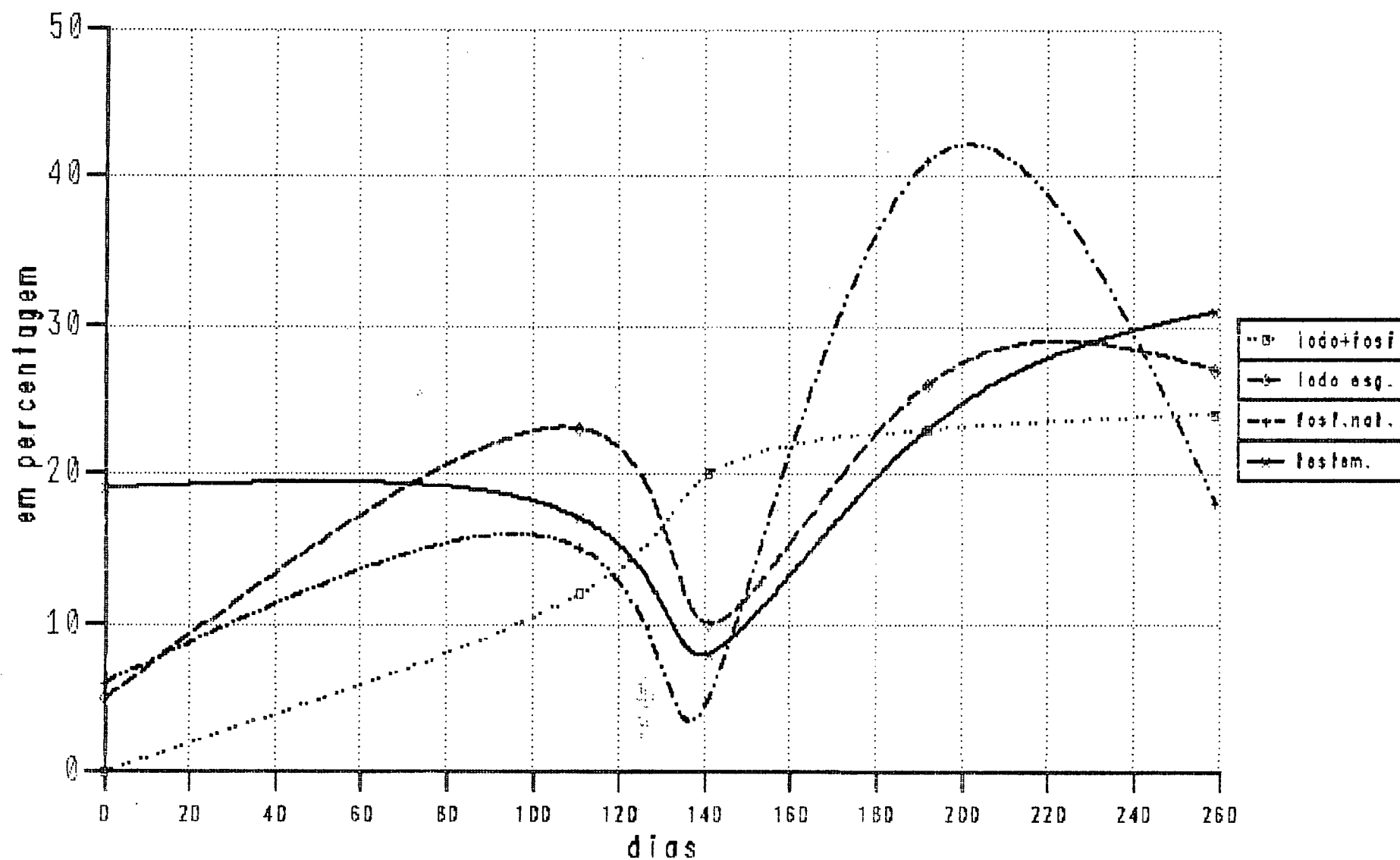


Figura 29 : Relacao Bacterias Solubiliz./Bacterias Totais por grama de solo para Testem., Fosf.Nat., Lodo Esg. e Lodo:Esg+Fosf.Nat.

## 5. CONCLUSÕES

a) Houve uma resposta significativa na produção do milho mediante a aplicação de composto de lixo urbano, composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural, com o tratamento com lodo de esgoto apresentando uma elevação pouco significativa, e o resultante da adição de fosfato natural apresentando um decréscimo em relação a testemunha;

b) Quando da adição concomitante dos compostos orgânicos com o fosfato natural, obteve-se um efeito sinérgico na produção;

c) A cinética de solubilização do fosfato indicou:

- liberação de fosfato a partir da mineralização do fosfato orgânico contido no composto de lixo urbano, lodo de esgoto, composto de lixo urbano mais fosfato natural e lodo de esgoto mais fosfato natural;

- liberação de pequenas quantidades de fosfato a partir do fosfato natural Patos de Minas;

- um efeito sinérgico de liberação de fósforo pela interação entre o fosfato natural e os compostos orgânicos;

d) A cinética do fósforo solúvel aos 141 dias experimentais (pico máximo) apresentou correlação com os dados de produção para todos os tratamentos aplicados;

e) A cinética de solubilização mostrou correlação com a respiração do solo aos 141 dias experimentais (pico máximo) e o ponto de inflexão da curva da biomassa microbiana;

f) Ocorreu um aumento de porcentagem dos fungos e bactérias solubilizadoras de fosfato durante o período experimental para todos os tratamentos;

g) Baseado no número de microorganismos solubilizadores de fosfato, pode se concluir que estes microorganismos somente se encontravam ativos quando da presença concomitante dos materiais orgânicos utilizados, de acordo com evidências da literatura;

h) Os resultados de produtividade, solubilizadores de fosfato e cinética de fósforo disponível para os diferentes tratamentos, comprovam no campo de hipóteses teóricas a possibilidade de indução de solubilização microbiana através do uso de fosfato natural e matéria orgânica facilmente oxidável, transpondo para o campo das observações já inferidas em experimentos de laboratório;

i) A relação fósforo disponível/fósforo total, apresentou um pico para todos os tratamentos exceto para testemunha, com uma tendência de regresso aos valores iniciais ao término do experimento, indicando efeitos físico-químicos e biológicos, e retirada de fósforo pela cultura do milho.

j) Convém salientar que a cinética observada para o fósforo no solo e sua relação com a produção da cultura do milho, apresenta relação com o tempo de repouso dos compostos orgânicos adicionados ao solo.

A população microbiana presente no solo apresentara um período de adaptação e posterior início dos processos de degradação, originando a seguir os fenômenos de solubilização do fósforo orgânico e inorgânico contidos nos materiais orgânicos testados e no fosfato natural adicionado ao solo.

k) As curvas da cinética de solubilização do fosfato e da relação fósforo disponível/fósforo total quando analisadas pelo método da resina, apresentaram menor correlação que aquelas pelo método de Mehlich, devido provavelmente ao maior coeficiente de variação apresentado, principalmente para a testemunha, dentro da mesma amostra de solo;

l) Para as condições experimentais do presente trabalho, o método da resina de troca anionica não foi analisado com maior profundidade em relação aos dados microbiológicos em função das maiores variações, devendo serem executados novos estudos em condições similares, para sedimentar as evidências aqui observadas, como também para se comprovar a melhor eficiência entre as duas metodologias de extração.

## 6. LITERATURA CITADA

1. AHAMAD, N. e JHA, K.K. Solubilization of rock phosphate by microorganisms isolate from bihar soils. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 14(1), 89-95, 1968.
2. ALEXANDER, M. Biochemical ecology of soil microorganisms. *A. Rev. Microbiol.* 18, 217-52, 1964.
3. ALEXANDER, M. *Introducción a la Microbiología del Suelo* México, Libros e Editoriales, 1980, 461p.
4. ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. *Manual de Adubação*, São Paulo, Ave Maria, 1975, 346p.
5. BAJPAI, P. D. e SUNDARA RAO, W. V. B. Phosphate solubilizing bacteria. Part 2. Extracellular production of organic acids by selected bacteria solubilizing insoluble phosphate. *Soil Sci. Plant Nut.*, 17 (2): 44-5. 1971.
6. BARBOSA FILHO, M. P. Utilização de fosfatos naturais em solo de Cerrado. *Informações Agrônomicas*, n 28, Potafos, 1984.
7. BARBER, D. A. *Pestic. Sci.*, 4: 367-373. 1973.
8. BAREA, J. M. Production of plant growth regulators by rhizosphere phosphate-solubilizing bacteria. *J. Appl. Bacteriol.* 40: 129 - 134, 1976.
9. BENIANS, G.L. and BARBER, D. A. The uptake of phosphate by plants from soil under aseptic and non-sterile conditions. *Soil Biol. Biochem.* 6: 195 - 200, 1974.
10. BERENOVA, E. F. Plant microbe relationships. (Macura, J.; Vancura, V., eds). *Czechoslovakia Academy Science*. Prague, 1965, 171p.
11. BETTIOL et alii. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do arroz (*Oryza sativa* L., cv-IAC 169). *Anais do II Congresso Brasileiro de Iniciação Científica* ESALQ / USP, Piracicaba, 218 - 219, 1982.
12. BETTIOL et alii. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. *O Solo*, Piracicaba, 75(1) : 44 - 54, 1983.
13. BLOOMFIELD, C. Mobilisation phenomena in soils. *Rep. Rothamsted exp. Stas*, 226 - 239. 1963.

14. BRADDLEY, B.B. e SIELING, D. H. Effect of organic anions and sugars on phosphat precipitation by iron and aluminum as influenced by pH, *Soil Sci.*, 76: 175, 1953.
15. BRADY, N. C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. Bastos, Goedição, Rio de Janeiro, 1983.
16. BRAGA, N. R.; MASCARANHAS, H. A. A.; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R. e RAIJ, B. van. Efeito de fosfatos sobre o crescimento e produção da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, 4: 36 - 9, 1980.
17. BROOKES, P. C. Soil microbial Biomass estimates in soil contaminates with metals. *Soil Biol. Biochem.* Vol.18, no4, pp.383 - 388, 1986.
18. BURGESS, A. *Biologia del Suelo*. Barcelona, Omega, 1971, 596p.
19. CABALA, R. e SANTANA, M. B. M. Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. *R. Bras. Ci. do Solo*. 7: 109 - 118, 1983.
20. CAMARGO, R. O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaça. *Bol. Inst. Zimotec*, Escola Superior Agrícola Luiz de Queiróz, (9):1-44, 1954.
21. CARVALHO, V. B. Recursos minerais brasileiros na área de fertilizantes. *1º seminário do Fertilizante*, ESALQ, Piracicaba, 64p, 1977.
22. CARVALHO, P. C. T. e BARRAL, M. F. Aplicação do Lodo de esgoto como fertilizante. *Fertilizante*. 3 (2): 3 - 5, 1981.
23. CARVALHO, P. C. T.; EIRA, A. F. e PELLEGRINO, D. Solubilização quantitativa de fosfatos insolúveis, por algumas espécies do gênero *Aspergillus* e *Penicillium*. *Anais da ESA "Luiz de Queiroz"*, Vol XVI, pag. 173 - 185, 1969.
24. CARVALHO, F. J. P. C. e RIBAS Jr, J. S. Determinação da Biomassa do Solo pelo método de Fumigação utilizando-se  $H_2SO_4$  0,019N e NaOH 0,5N. *Relatório de aulas práticas*. 1987.
25. CARVALHO, P. C. T.; SALGADO, J. W. e SANTANA, L. P. Biotransformação da apatita de araxá em solo suplementado com diferentes fontes de carbono. *O Solo*. 1: 30, 1977.

26. CASIDA Jr., L. E. Phosphatase - activity of some common soil fungi. *Soil Sci.* 87: 305, 1959.
27. CASSINI, S. T. A. Exercícios práticos de Microbiologia do solo. Viçosa, Coopasul, 46p, 1986.
28. CEKINSKI, E. e BETTOL, W. Fosfato parcialmente acidulado: um produto promissor. *Fertilizantes*. São Paulo, 5: 8 - 12, 1983.
29. CERRI, C. C. Biomassa microbiana em Latossolo Amarelo sob vegetação natural e modificada pelo cultivo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 19., Curitiba, 1983. Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 37p. 1983.
30. CHANG, S. C. Assimilation of phosphorus by a mixed soil population and by pure cultures of soil fungi. *Soil Science*. Vol. 40, p197 - 210, 1940.
31. CHAPMAN, S. J. Inoculum in the fumigation method for soil Biomass determination. *Soil Biol Biochem*. Vol. 19, No 1, pp. 83 - 87, 1987.
32. COELHO, F. S. e VERLENGIA, F. Fertilizantes fosfatados. In: .....Fertilidade do solo. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, cap. 10, p. 72 - 82, 1973.
33. COSGROVE, D. J.; IRVING, G. C. J.; BROMFIELD, S. M. Inositol phosphate phosphatases of microbiological origin. The isolation of soil bacteria having inositol phosphate phosphatase activity. *Aust. J. Biol. Sci.* 23: 339 - 343, 1970.
34. CORREIA, A. A. D. Bioquímica nos solos, nas pastagens e forragens. Fundação Calouste Gulbenkian, 777p, Lisboa, 1986.
35. CRISTIE, P. e BEATTIE, J. A. Residual effects of clover on soil Biomass Carbon and Nitrogen in de seeded grass swards. *Soil Biol Biochem*. Vol. 18, No 6, pp 621 - 627, 1986.
36. CRISTIE, P. e BEATTIE, J. A. Significance of sample size in measurement of soil microbial by the chloroform fumigation - incubation method. *Soil Biol Biochem*. Vol. 19, No 2, pp 149 - 152, 1987.
37. DALTON, L. D.; RUSSEL, G. C.; SIELANG, D. H. Effect of organic matter on phosphate availability. *Soil Sci*. 73: 173, 1952.



- 38.DAUGHTREY, Z. W.; GILLIAM, J. W. and KAMPRATH, E. J. Phosphorus supply characteristics of acid organic soils as measures by desorption and mineralization. *Soil Science*. Vol. 115, p18 - 24, 1973.
- 39.DERAL-SEAG. Acompanhamento da situação Agropecuária do Paraná. Secretaria de Estado da Agricultura, Vol 12, N.1. p101, Curitiba, 1986.
- 40.DOMMERGUES, Y. e MANGENOT, F. *Ecologie Microbienne du Sol*. Masson, Paris, 783p, 1970.
- 41.DOMSCH, K. H. e PAUL, W. Simulation and experimental analysis of the influence of herbicides on soil nitrification. *Arch. Mikrobiol.* 97: 283 - 301, 1974.
- 42.DUFF, R. B.; WEBLEY, D. M. and SCOTT, R. O. The solubilization of minerals and related materials by 2-ketogluconic acid producing bacteria. *Soil Sci.* 95: 105 - 14, 1963.
- 43.EIRA, A. F. e CARVALHO, P. C. T. Levantamento de microorganismos solubilizadores de fosfatos. *Bickia*.5:11 - 124, 1970.
- 44.EIRA, A. F. e CARVALHO, P. C. T. A fonte de carbono como fator de solubilização de fosfatos naturais pela microflora do solo. In: Congresso Brasil., 2. Anais. (*Microbiologia*, 3: 185 - 186, 1971).
- 45.ENWEZOR, W. O. Significance of the C:Organic P ratio in the mineralization of soil organic phosphorus. *Soil Science*. vol.103, pag. 62 - 66, 1966.
- 46.EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, Rio de Janeiro. *Manual de Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979, 1.v.
- 47.EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. *Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado do Paraná*. Boletim Técnico, 57. Tomo 1, Londrina 1984.
- 48.EPSTEIN, E. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. *J. Environ. Qual.* 4(10): 139 - 142, 1975.
- 49.FEITOSA, C. T.; RAIJ, B.Van; DECHEN, J. C. e ALCARDE, J. C. Determinação preliminar da eficiência relativa de fosfatos para Trigo, em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, 2: 193 - 5, 1978.

50. GALHARDO, M. I. A. T. Algumas características microbiológicas de fertilizantes orgânicos ativados. Anais do Instituto Superior de Agronomia. p166 - 180, Lisboa, 1973.
51. GAMBALE, W.; PAULA, C. R.; PURCHIO, A. Avaliação da microbiota fungica em lodo de esgoto digerido submetido a tratamento químico e térmico. Programas e Resumos. XIV Congresso Brasileiro de Microbiologia. Viçosa, 1987.
52. GAUR, A. C. e OSTWAL, K. P. Influence of phosphate dissolving bacilli on yield and phosphate uptake of wheat crop. Indian J. Exp. Biol. 10(5): 393 - 394, 1972.
53. GERRETSEN, F. C. The influence of microorganisms on the phosphate in take by the plant. Plant and Soil. 1: 51 - 81, 1948.
54. GIORDANO, P. M.; MORTVEDT, J. J.; MAYS, D. A. Effects of municipal wastes on crop yields and uptake of heavy metals. J. Environ. Qual., 4: 394 - 399, 1975.
55. GOEDERT, W. J.; REIN, T.A. e SOUZA, D. M. G. Eficiência Agrônômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais. Planaltina, Embrapa, Documentos, 24. 21p, 1986.
56. GOEDERT, W. J. e SOUZA, D. M. G. Avaliação preliminar da eficiência de fosfatos com acidulação parcial. R. bras. Gl. Solo. 10: 75 - 80, 1986.
57. GORING, C. A. I. Biological transformations of phosphorus in soil. II. Factors affecting synthesis of organic phosphorus. Plant and Soil. pag. 26 - 37, 1955.
58. GONZÁLES-EGUIARTE, D. e BAREA, J. M. Fertilización biológica con fosfobacterias productoras de fitohormonas en suelos deficientes en fósforo. Influência de la adición de fósforo e materia orgánica. Rev. Lat. Amer. Microbiología. 17: 227 - 232, 1975.
59. GRANT, W. D. Correlation between four methods to estimate total microbial biomass in stored, air - dried and glucose-amended soils. Soil Biol. Biochem. vol. 18, n. 6, pp569 - 576, 1986.
60. GRAY, T. R. E. e WILLIAMS, S. T. Soil microorganisms. New York, Longman, 1975.
61. GREAVES, M. P. and WEBLEY, D. M. A study of the breakdown of organic phosphates by micro-organisms

- from the root region of certain pasture grasses. J. Appl. Bacteriol. 28: 454 - 465, 1965.
62. GREAVES, M. P. and WILSON, M. J. The degradation of nucleic acids and montmorillonite-nucleic-acid complexes by soil microorganisms. Soil Biol. Biochem. 2: 257 - 268, 1970.
63. GRISI, B. M. e GRAY, T. R. G. Biomassa microbiana de solo estimada do biovolume com o uso da microscopia de fluorescência. Rev. Bras. Ciência do Solo. 9, 131 - 138, 1985.
64. GRISI, B. M. Metodologia da determinação de biomassa microbiana de solo. Rev. Bras. Ciência do Solo. Campinas, 8: 167 - 172, 1984.
65. GRISI, B. M. e GRAY, T. R. G. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta a adição de glicose e conteúdo de ATP para estimar a Biomassa Microbiana dos solos. R. Bras. Ci. Solo. 10: 109 - 115, 1986.
66. HARRISON, M. J.; PACHA, R. E. e MORITA, R. Solubilization of inorganic phosphates by bacteria isolated from upper klamath lake sediment. Limnol. Oceanogr. 17(1): 50 - 7, 1972.
67. JENKINSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. IV. The decomposition of fumigated organisms in soil. Soil Biol. Biochem. Oxford, 8:203 - 208, 1976.
68. JACKSON, M. L. Soil Chemical Analysis. Engelwood Cliffs, 1958, p.278.
69. JENKINSON, D. S. e LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A. e LADD, J. N. eds, Soil Biochemistry. New York, Marcel Dekker, v.5 p.415 - 471, 1981.
70. JENKINSON, D. S. e POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I Fumigation with chloroform. Soil Biol. Biochem. Oxford, 8:167 - 177, 1976.
71. KAILA, A. Biological absorption of phosphorus. Soil Sci. vol.68, p279 - 289, 1949.
72. KATZNELSON, H.; PETERSON, E. A. e ROUATT, W. J. Phosphate dissolving microorganisms on seed and into the root zone of plants. Can. J. Bot. Ottawa, 40: 1181 - 1186, 1962.

73. KHASAWNEK, F. E. e DOLL, E. C. The use of phosphate rock for direct application to soils. Advances in Agronomy. vol. 30, 159 - 206, 1978.
74. KIEFT, T. L. Microbial biomass response to a rapid increase in water potencial when dry soil is wetted. Soil Biol. Biochem. vol. 19, n.2, pp119 - 126, 1987.
75. KIRKHAM, M. B. Agricultural use of phosphorus in sewage sludge. Advances in Agronomy. vol. 35, pag. 129 - 163, 1982.
76. KORNDORFER, G. F. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo. Tese Mestrado. Faculdade de Agronomia. UFRGS, Porto Alegre, 63p, 1978.
77. LARSEN, S. Residual phosphate in soils. Tech. Bull. HMSO. London, 20: 34 - 41, 1971.
78. LOMBARDI, M. L. C. O. Dissolução de três fosfatos naturais através da atividade microbiológica da oxidação do Enxofre. Tese de Mestrado. Piracicaba, ESALQ, 62p, 1981.
79. LOPES, E.; DIAS, R. e FREITAS, S. S. Influência dos microorganismos na nutrição dos cultivos dos trópicos. Simpósio sobre reciclagem de nutrientes e Agricultura de Baixos Insumos nos trópicos. CEPLAC - SBOS, 1985.
80. LOUW, H. A. e WEBLEY, D. M. A study of soil bacteria dissolving certain mineral phosphate fertilizer and related compounds. J. Appl. Bact. 22, (9):227 - 33, 1959.
81. LYNCH, J. M. Bioteecnologia do solo. Fatores microbiológicos na produtividade agrícola. Manole, 203p, 1986.
82. MACHADO, J. O.; PICCIN, G. R.; BARBOSA, J. C.; NAHAS, E. Effect of vinasse and rock phosphate on dicalcium phosphate dissolving bacteria in the rhizosphere of *Lycopersicon esculentum*(Mill) cv. Petomech. Soils and Fertilizers. vol.48, n.3, 1985.
83. MARTENS, R. Estimation of microbial biomass in soil by the respiration method importance of soil pH and flushing methods for the measurement of respired CO<sub>2</sub>. Soil Biol. Biochem. vol.19, n.1, pp77 - 81, 1987.
84. MARTIN, J. K. The influence of rhizosphere microflora on the availability of <sup>32</sup>P-myoinositol hexaphosphate phosphorus to wheat. Soil Biol. Biochem. 5: 473 - 483, 1973.

85. MAZUR, N.; SANTOS, G. A. e VELLOSO, A. C. X. Efeito de residuo urbano na disponibilidade de fósforo em solo ácido. R. Bras. Ci. Solo. 7: 153 - 156, 1983.
86. MAZUR, N.; VELLOSO, A. C. X. e SANTOS, G. A. Efeito do composto de residuo urbano no pH e aluminio trocavel em solo ácido. R. bras. Ci. Solo. 7: 157 - 159, 1983.
87. Mc. LAUGHLIN, M. J. e ALSTON, A. M. Measurement of phosphorus in the soil microbial biomass a modified procedure for field soils. Soil Biol. Biochem. vol.18, n.4, pp437 - 433, 1986.
88. MEZARI, A. H.; SUAREZ, S. F. e GODOY, A. Solubilization des phosphates por los microorganismes du sol. Ann. Inst. Pasteur. 105(2): 267 - 274, 1963.
89. MILLS, A. L. and ALEXANDER, M. Decomposition of species of freshwater planktonic algae. J. Environ. Qual. 3: 423 - 428, 1974.
90. MINHONI, M. T. A. e CERRI, C. C. Decomposição de vinhaça em solo sob diferentes níveis de umidade: liberação de CO<sub>2</sub>, formação de biomassa microbiana e imobilização do nitrogenio adicionado. R. bras. Ci. Solo. 11: 25 - 30, 1987.
91. MISCHOUSTINE, E. N. Processus microbiologiques mobilisant les compoues du phosphore dans le sol. Rev. Ecol. Biol. Sol. 9(3): 521 - 28, 1972.
92. MOREL, J. L. Phosphate fertilizer value of wast sludge. Phosphorus In Agric. 73: 13 - 19, 1978.
93. MULONGOY, K. Microbial biomass and maize nitrogen uptake under a Psophocarpus palustris live-mulch grown on a tropical alfisol. Soil Biol. Biochem. vol.18, n.4, pp395 - 398, 1986.
94. MUZZILI, O. Emprego da análise do solo e estimativa de doses economicas para adubação fosfatada e potassica em cultura de milho no Estado do Paraná. Rev. Pesq. Agrop. Bras. 17(2): 203 - 209, 1982.
95. MUZILLI, O. e OLIVEIRA, E. L. O milho no Paraná. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. Circular IAPAR-29. 177p, Londrina, 1982.
96. MUZILLI, O. e KALCKMANN, R.E. Sugestões de calagem e adubação para recuperação de solos da região Nordeste do Estado do Paraná. Arquivos Biol. e Tecnol. XIV:54 - 60. Inst. Biol. Pesq. Tecnol. Curitiba, 1971.

97. MYSKOW, W. The influence of bacteria dissolving phosphates on the availability of phosphorus to plants. Acta microbiol. Pol. 10: 395 - 402, 1961.
98. NAPLEKOVA, N. N. Release of relatively immobile phosphates by fungi and actinomycetes growing on cellulose. Soviet Soil Sci. pag 1495 - 1503, 1967.
99. OLEYNIK, J. Eficiência agronomica a curto prazo de fosfatos naturais e termofosfatos em dois Latossolos do Estado do Rio Grande do Sul. Itese de Mestrado. UFRS, Porto Alegre, 73p, 1980.
100. PAREEK, R. P. e GAUR, A. C. Release of phosphate from tricalcium and rock phosphate by organic acids. Current Sci. 42(8): 278 - 9, 1973.
101. PATRICK, W. H.; GOTOH, S. and WILLIAMS, B. G. Strengite dissolution in floored soils and sediments. Soil Science. vol. 179, pag. 564 - 565, 1973.
102. PEPPER, I. L.; MILLER, R. H. e GHONSIKAR, C. P. Microbial inorganic polyphosphates: factors influencing their accumulation in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 872 - 875, 1976.
103. PEREIRA NETO, J. T. Monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem de lixo urbano e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estaticas aeradas. Programas e Resumos. XIV Congresso Brasileiro de Microbiologia. Viçosa, 1987.
104. POCHON, J. E. e THARDIEUX, P. Techniques d'analyse en microbiologie du sol. Seine. Editions de La Tourelle, 111p, 1962.
105. POWLSON, D. S. e BROOKES, P. C. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biol. Biochem. vol. 19, n. 2, pp 159 - 164, 1987.
106. RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solo. R. bras. Ci. Solo. 2: 1 - 9, 1978.
107. RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba. Instituto da Potassa e Fósforo: Instituto Internacional da Potassa, 142p, 1981.
108. RAIJ, B. van. Fósforo: Dinâmica e disponibilidade no solo. Em: Curso de atualização em Fertilidade do solo. Fundação Cargill, p 161 - 179, 1987.

109. RAIJ, B. van. Análise química do solo para fins de Fertilidade, por Bernardo Van Raij, José Antonio Quaggio, Heitor Cantarella e outros. Fundação Cargill, 170p, 1987.
110. RAGHU, K. and MacRAE, I. C. J. Appl. Bacteriol. 29: 582 -586, 1966.
111. RAMOS, A.; CALLAO, U. e CARVALHO, P. C. T. La solubilizacion de fosfatos por fungos del suelo. Microb. Espan. Madrid, 21: 23 - 37, 1968.
112. ROSA, F. V.; MACHADO, J. O.; SANDOVAL, C. R. e BARBOSA, J. C. Densidade de microorganismos solubilizadores de fosfato dicálcico em solos de rizosfera de algumas leguminosas forrageiras. Científica, São Paulo, 10(2):209-216, 1982.
113. ROSS, D. J.; ORCHARD, V.A. e RHOADES, D. A. Temporal fluctuations in biochemical properties of soil under pasture. Respiratory Activity and Microbial Biomass. Australian Journal of Soil Research, 22(3)303-317, 1984.
114. RUSSEL, E. W. Soil conditions and plant growth. 10ed. London, Longman, 849p, 1973.
115. SACKETT, W. G.; PATTEN, A. J. e BROWN, C. W. The solvent action of soil bacteria upon the insoluble phosphates of raw bone meal and natural rock phosphate. Mich. Centr. Bakt. Parasintek Zweite ABTH, 20: 688 -703, 1908.
116. SAMPAIO, E. V. S. B. e SALCEDO, T. H. Limitações no calculo da biomassa microbiana determinada pelo método da fumigação em solos com adição recente de substrato orgânico (14C). R. bras. Ci. Solo. 10: 31 - 35, 1986.
117. SAMPAIO, E. V. S. B. e SALCEDO, T. H. Efeito da adição de nitrogenio e palha (14C) na liberação de CO<sub>2</sub> e formação de biomassa microbiana em Latossolo Vermelho Amarelo. R. bras. Ci. Solo. Campinas, 6: 177 - 181, 1982.
118. SANTOS, H. F. Aplicação do lodo de Estações de tratamento em solos agrícolas. Revista DAE. pag31 - 48, 1982.
119. SCOTTI, C. A.; TURKIEWICZ, L. e KALCKMAN, R. E. Determinação da necessidade de adubação dos solos do Oeste do Estado do Paraná. IV-Ensaio com milho. 1968/69 a 1970/71. Bol. Univ. Fed. Paraná. Agronomia, n.5, Curitiba, 10p, 1971.

120. SEKHON, G. S. e BLACK, C. A. Uptake of phosphorus by plants in relation to carbon dioxide production and organic phosphorus mineralization in soil. Plant Soil. 29: 299 - 304, 1968.
121. SEVERN-TRENT WATER AUTHORITY. Sludge utilization handbook. 32p, 1979.
122. SFREDO, G. F.; BORKERT, G. M.; CORDEIRO, D. S.; PALHANO, J. B. e DITTRICH, R. C. Comparação de cinco extratores de fósforo no solo considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. Br. bras. Ci. Solo. 3: 111 - 115, 1979.
123. SHAN-MIN, S. Soil respiration and the measurement of microbial biomass C by the fumigation technique in fresh and air-dried soil. Soil Biochem. vol.19, n.2, pp153 - 158, 1987.
124. SPERBER, J. I. The incidence of Apatite-solubilizing organisms in the rhizosfera and soil. Aust. J. Agric. Res. 9: 778 - 781, 1958.
125. SPERBER, J. I. Solutions of apatite by soil microorganisms producing organic acids. Aust. J. Agr. Res. 9: 782 - 7, 1958.
126. SORENSEN, L. H. Organic matter and microbial biomass in a soil incubated in the field for 20 years with <sup>14</sup>C-labelled barley straw. Soil Biol. Biochem. vol.19, n.39 - 42, 1987.
127. SPARLING, G. P. e WILLIAMS, B. L. Microbial biomass in organic soils: estimation of biomass C, and effect of glucose or cellulose amendments on the amounts of N and P released by fumigation. Soil Biol. Biochem. vol.18, N.5, pp507 - 513, 1986.
128. STRUTHERS, P. H.; SIELING, D. H. Effect of organic anions on phosphate precipitation by iron and aluminium as influenced by pH. Soil Sci. 69: 205 - 13, 1950.
129. SUNDARA-RAO, W. V. B. e SINHA, M. K. Indian J. Agric. Sci. 33: 272, 1963.
130. SWABY, R. J. e SPERBER, J. Phosphate dissolving microorganisms in the rizosphere of legumes in: Halls-Worth, E.D., Nutrition of Legumes. London, Butterworths, p289 - 94, 1959.
131. SWABY, R. J. Biosuper - Biological superphosphate in: McLachlan, K.D. Ed. Sulphur in Australasian Agriculture. pp213 - 220, 1975.



132. TARDIEUX-ROCHE, A. Contribution a l'etude des interactions entre phosphates naturels et microflore du sol. Annales Agron. 17: 403 - 471, et 479 - 528, 1966.
133. THOMAS, G. W. e PEASLEE, D. E. Testing soil for phosphorus In: WALSH, L. M. e BEATON, J. D. (eds), Soil Testing and Plant Analysis, 2ed edition, Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisc., p115 - 132, 1973.
134. VENKATESWARLU, B.; RAO, A.V. e RAINA, P. Evaluation on phosphorus solubilization by microorganisms isolated from aridisols. Journal of the Indian Society of Soil Science, 32(2) 273-277, 1984.
135. VOLKWEISS E. e RAIJ, B.van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solo. In: Simpósio sobre o cerrado, 4o. Brasília, 21 - 25 Julho, 1976. Simposio... Belo Horizonte, Itatiaia, p317 - 32.
136. VASCONCELOS, C. A. Níveis, métodos de aplicação e fosfatos na produção de milho. Pesq. Agropec. bras. 21(3): 245 - 254, Brasília, 1986.
137. WALKSMAN, S. A. Soil microbiology. 4.ed. Nex York, John Wiley, 356p, 1963.
138. WARCUP, J. H. The soil plate method for isolation of fungi from soil. Nature. London, 166 - 217, 1950.
139. WARD, J. S. Biological and Biochemical analysis of soils. Plant and Soil. 76(1/3) 127 - 137, 1984.
140. YEVDOKIMOVA, G. A. Microbial activity of soils polluted by heavy metals. Received. 1980.
141. ZYKINA, L.V. Decomposition of minerals under the effect of *Aspergillus niger*. Received, 56-62, 1980.

## 7. A P P E N D I C E

Tabela 1 : COMPOSIÇÃO QUÍMICA INICIAL E FINAL DO SOLO NA ÁREA EXPERIMENTAL

PARAMETROS	TESTEMUNHA		FOSFATO NATURAL		LIXO URBANO		LODO ESGOTO		LX.URB + FOSF.NAT..		LOD.ESG + FOSF.NAT.	
	Inicial-Final		Inicial - Final		Inicial-Final		Inicial-Final		Inicial - Final		Inicial - Final	
PH(CaCl <sub>2</sub> )	5,4	5,0	5,3	5,1	6,0	6,3	5,4	5,0	5,3	5,6	5,7	5,3
Al (m.e%)	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca+Mg(m.e%)	13,4	12,2	11,9	12,5	16,4	17,3	12,4	11,5	12,3	14,4	14,7	13,5
K (ppm)	44	85	43	89	31	239	42	80	51	403	50	84
C (%)	4,1	3,4	3,4	3,4	3,9	3,9	3,1	3,4	3,7	3,8	3,9	3,5
Mat.Ong(%)	7,1	5,8	5,8	5,8	6,7	6,7	5,3	5,8	6,4	6,5	6,7	6,0

Tabela 2 : COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DIGERIDO E DO COMPOSTO DE LIXO URBANO

PARAMETROS	LODO DIGERIDO	COMPOSTO DE LIXO URBANO	LIMITES MÁXIMOS *	
			FRANÇA /	ALEMANHA
Ph (CaCl <sub>2</sub> )	7,3	4,8	-	-
Al (m.e%)	0,0	0,0	-	-
Ca + Mg(m.e%)	10,0	10,0	-	-
P (ppm)	30,0	30,0	-	-
K (ppm)	120,0	120,0	-	-
C (%)	10,0	5,8	-	-
Cádmio (ug/g)	1,39	1,39	10 a 25	15
Chumbo (ug/g)	149,63	164,34	400 a 800	300
Cobalto (ug/g)	6,70	10,28	-	20
Cromo (ug/g)	226,10	103,26	-	200
Merúrio (ug/g)	2,78	1,65	10 a 25	8
Nickel (ug/g)	43,40	25,00	-	100
Cobre (ug/g)	275,19	446,69	400 a 600	1500
Manganhês (ug/g)	ND	ND	500 a 1000	500
Zinco (ug/g)	808,95	957,11	2000 a 3000	3000
Mat.Org. (%)	17,2	10,0		
N(%)	4,0	0,6		

\* SEVERN-TRENT WATER AUTHORITY

Tabela 3. Dados climáticos principais coletados na Estação Agrometeorológica de Piraquara, no período de julho de 1985 a junho de 1986.

MESES	Temperatura			Umid. Relat. (%)	Chuva (mm)	Evaporação (mm)
	max.	med.	min.			
Julho- 85	18,8	12,4	8,2	79,7	20,4	61,1
Agosto-85	22,7	15,1	9,7	74,4	6,9	93,6
Setembro-85	20,7	14,7	11,2	84,6	139,0	53,3
Outubro-85	23,8	17,1	12,7	80,6	101,6	69,7
Novembro-85	25,3	18,3	13,4	77,5	49,0	89,3
Dezembro-85	27,0	19,8	15,3	77,9	72,2	92,3
Janeiro-86	28,0	21,1	16,8	79,8	264,4	78,4
Fevereiro-86	26,2	20,5	17,2	85,5	114,9	51,7
Março-86	25,3	19,4	16,1	84,7	108,9	53,4
Abril-86	23,8	18,3	15,1	86,3	132,3	45,6
Maió-86	21,4	16,0	12,3	88,1	76,8	40,4
Junho-86	20,6	13,5	8,4	81,0	12,8	55,3

Fonte. IAPAR.

Tabela 4: PRODUÇÃO OBTIDA NA CULTURA DO MILHO (Zea mays) ENTRE AS MEDIAS DOS TRATAMENTOS (Kg/ha)

TRATAMENTOS	PRODUCAO
TESTEMUNHA	1.377
FOSFATO NATURAL	1.256
COMP. LIXO URBANO	2.478
LODO DE ESGOTO	2.389
COMP.LIXO URB.+FOSF.NAT.	2.700
LODO ESGOTO+FOSF.NAT.	3.256

TABELA 5: DEMONSTRATIVO DA CINÉTICA DE SOLUBILIZAÇÃO DO FOSFORO ENTRE TRATAMENTOS,  
COLETAS E METODOLOGIAS DE EXTRAÇÃO (em ppm)

TRATAMENTOS	1a.coleta 21/08/85		2a.coleta 09/12/85		3a.coleta 08/01/86		4a.coleta 28/02/86		5a.coleta 05/05/86	
	MEHLICH	RESINA	MEHLICH	RESINA	MEHLICH	RESINA	MEHLICH	RESINA	MEHLICH	RESINA
TESTEMUNHA	5	14	5	9	6	23	6	20	7	10
FOSFATO NATURAL	4	15	13	16	14	23	17	16	14	10
LIXO URBANO	7	29	22	54	50	96	25	63	21	33
LODO ESGOTO	5	15	8	18	22	43	23	37	24	31
LODO ESG + FOSF.NAT.	6	19	22	11	73	55	50	51	39	35
LIXO URB + FOSF.NAT.	4	11	32	48	73	70	49	50	29	27

Tabela 6: MÉDIA DOS TEORES DE FOSFORO TOTAL ENTRE OS TRATAMENTOS APLICADOS (em ppm)

TRATAMENTOS	MEDIA
TESTEMUNHA	420
FOSFATO NATURAL	438
COMP. LIXO URBANO	548
LODO DE ESGOTO	478
COMP.LIXO URB.+FOSF.NAT.	510
LODO ESGOTO+FOSF.NAT.	581



Tabela 7: RELAÇÃO FOSFORO DISPONIVEL / FOSFORO TOTAL ENTRE OS TRATAMENTOS (Extrator de Mehlich)

TRATAMENTOS	DIAS				
	0	111	141	192	259
TESTEMUNHA	1,19	1,19	1,43	1,43	1,67
FOSFATO NATURAL	,91	2,97	3,20	3,88	3,20
COMP. LIXO URBANO	1,28	4,01	9,12	4,56	3,83
LODO DE ESGOTO	1,05	1,67	4,60	4,81	5,02
COMP.LIXO URB.+FOSF.NAT.	,78	6,27	14,31	9,60	5,69
LODO ESGOTO+FOSF.NAT.	1,03	3,79	12,56	8,61	6,71

Tabela 8a: EVOLUÇÃO DE  $\text{CO}_2$ -C LIBERADO PELO SOLO FUMIGADO (X)  
ENTRE 0 A 10 DIAS (em mg. de C / 100 g. solo)

TRATAMENTOS	DIAS				
	0	111	141	192	259
TESTEMUNHA	42,4	41,8	71,4	60,8	66,2
FOSFATO NATURAL	41,1	46,6	71,4	62,6	55,7
COMP. LIXO URBANO	42,4	56,8	75,4	73,7	78,2
LODO DE ESGOTO	36,5	45,4	70,0	66,1	62,7
COMP.LIXO URB.+FOSF.NAT.	41,3	45,6	73,8	69,4	65,9
LODO ESGOTO+FOSF.NAT.	33,5	39,9	76,2	65,1	64,8

Tabela Bb: EVOLUÇÃO DE  $\text{CO}_2$ -C LIBERADO PELO SOLO NAO FUMIGADO (x)  
ENTRE 0 A 10 DIAS (em mg. de C / 100 g. solo)

TRATAMENTOS	DIAS				
	0	111	141	192	259
TESTEMUNHA	19,9	29,9	49,1	30,0	39,1
FOSFATO NATURAL	20,8	29,7	51,8	28,6	33,2
COMP. LIXO URBANO	26,5	43,2	65,2	47,9	49,3
LODO DE ESGOTO	16,5	31,2	50,2	37,2	34,7
COMP.LIXO URB.+FOSF.NAT.	18,2	30,1	57,5	46,9	39,7
LODO ESGOTO+FOSF.NAT.	17,6	23,5	61,1	46,1	39,7

Tabela 8c: ESTIMATIVA DA BIOMASSA C CALCULADA PELA FORMULA  
 $B = (X - x) / 0,45(*)$  (em mg. de C / 100 g. solo)

TRATAMENTOS	DIAS				
	0	111	141	192	259
TESTEMUNHA	50,0	26,4	59,4	68,4	60,3
FOSFATO NATURAL	45,2	37,6	43,4	75,6	49,9
COMP. LIXO URBANO	35,4	30,2	22,7	57,2	64,2
LODO DE ESGOTO	44,4	31,6	44,0	64,3	62,2
COMP.LIXO URB.+FOSF.NAT.	51,4	34,4	38,2	50,0	58,4
LODO ESGOTO+FOSF.NAT.	35,3	36,4	33,8	42,3	55,8

(\*) Fator correspondente a fracao da biomassa morta, com o C mineralizado para CO<sub>2</sub> no periodo de 0 a 10 dias, a 25 oC.

Tabela 9: EVOLUÇÃO DA TAXA DE RESPIRAÇÃO DO SOLO, ENTRE 0  
A 10 DIAS (em mg. de CO<sub>2</sub> / 100 g. solo)

TRATAMENTOS	DIAS				
	0	111	141	192	259
TESTEMUNHA	73,0	109,6	180,0	109,9	143,3
FOSFATO NATURAL	76,0	108,8	189,9	104,9	121,8
COMP. LIXO URBANO	97,0	158,5	238,7	175,7	180,7
LODO DE ESGOTO	61,0	114,2	184,0	136,4	127,2
COMP.LIXO URB.+FOSF.NAT.	67,0	110,3	210,9	171,8	145,4
LODO ESGOTO+FOSF.NAT.	65,0	86,2	223,8	168,8	145,4

TABELA 10 : DEMONSTRATIVO DE VARIAÇÃO DO NUMERO DE FUNGOS TOTAL E SOLUBILIZADORES DE FOSFATO ENTRE OS DIFERENTES TRATAMENTOS E COLETAS (g/solo x 10<sup>3</sup>)

TRATAMENTOS	1a.coleta 21/08/85 (INVERNO)			2a.coleta 09/12/85 (PRIMAVERA)			3a.coleta 08/01/86 (VERÃO)			4a.coleta 28/02/86 (VERÃO)			5a.coleta 05/05/86 (OUTONO)		
	TOT.SOL. s/t(%)			TOT.SOL. s/t(%)			TOT.SOL. s/t(%)			TOT.SOL. s/t(%)			TOT.SOL.s/t(%)		
TESTEMUNHA	2	1	50	4	2	50	4	2	50	5	4	80	45	40	89
FOSFATO NATURAL	5	2	40	3	2	67	8	7	88	8	4	50	23	21	91
LIXO URBANO	10	3	30	8	6	75	9	3	33	5	3	60	22	15	68
LODO ESGOTO	2	1	50	8	2	38	8	3	38	11	4	36	81	68	84
LODO ESG + FOSF.NAT.	3	1	33	5	3	60	29	18	62	29	14	48	63	48	76
LIXO URB + FOSF.NAT.	4	1	25	8	5	63	12	6	50	33	17	51	37	30	81

TABELA 11: DEMONSTRATIVO DE VARIAÇÃO DO NUMERO DE BACTERIAS TOTAL E SOLUBILIZADORES DE FOSFATO ENTRE OS DIFERENTES TRATAMENTOS E COLETAS (g/solo x 10<sup>4</sup>)

TRATAMENTOS	1a.coleta 21/08/85 (INVERNO)			2a.coleta 09/12/85 (PRIMAVERA)			3a.coleta 08/01/86 (VERÃO)			4a.coleta 28/02/86 VERÃO)			5a.coleta 05/05/86 (OUTONO)		
	TOT.SOL. s/t(%)			TOT.SOL. s/t(%)			TOT.SOL. s/t(%)			TOT.SOL. s/t(%)			TOT.SOL. s/t(%)		
TESTEMUNHA	16	3	19	35	6	17	39	3	8	26	6	23	39	12	31
FOSFATO NATURAL	50	3	6	26	4	15	93	5	5	23	9	41	66	12	18
LIXO URBANO	49	8	16	41	6	15	36	9	25	52	8	15	71	20	28
LODO ESGOTO	22	1	5	26	6	23	31	3	10	62	16	26	44	12	27
LODO ESG + FOSF.NAT.	13	0	0	26	3	12	30	6	20	61	14	23	96	23	24
LIXO URB + FOSF.NAT.	27	1	4	30	4	13	26	3	12	71	15	21	79	20	25

Tabela 12. Recursos dos Minerais Fosfatados Brasileiros (em 1000t).

Origem	Reserva Geologica	P2O5 Contido	Reserva Definida	P2O5 Contido	Mineral
Rochas Cristalinas	1.343.921	110.895	916.960	72.068	Apatita
Rochas Sedimentares e Metamorficas	1.200.130	124.013	499.647	57.728	Fosforita
Rochas diversas	20.900	5.090	19.180	4.699	Wavel./Guanos
Total	2.564.951	239.998	1.435.787	129.945	

Fonte: Adaptado de Malavolta (1981).



Tabela 13. Características dos principais Adubos Fosfatados usados no Brasil.

183

Adubo	%P2O5 (*)				%			
	sol.	HCl.	CiNH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	N	Ca	MgO	S
Superfosfato 30	30	29	—	28	—	28	—	8
Simples	21	18	18	15	0	26	0	12
Triplo	45	39	45	36	0	15	0	1
Fosfato Monoammonico	52	52	52	50	10	0	0	0
Diamonico	45	43	44	41	18	0	0	0
Nitrofosfato	20	18	18	16	18	12	0	0
Fosfato bicalcico	40	40	40	0	0	30	0	0
Termofosfato	19	16	13	0	0	28	16	0
Escoria de Thomas	19	15	12	0	0	25	—	0
inso.								
Farinha de ossos	30	25	17	0	0	36	0	0
Olinda	26	5	1	0	0	43	0	0
Hiperfosfato	27	12	6	0	0	40	0	0
Abaete	24	4	1	0	0	—	0	0
Patos de Minas	24	4	1,5	0	0	—	0	0
Alvorada	33	6	2,5	0	0	—	0	0
Ipanema	39	3	2	0	0	—	0	0
Jacupiranga	33	2	—	0	0	—	0	0
Araxã	36	5	2	0	0	42	0	0
Catalão	37	2,5	0,5	0	0	—	0	0
Tapira	37	2,5	2	0	0	—	0	0
Maranhão	30	1	15	0	0	—	0	0
Fospal	32	0,5	6	0	0	0	0	0

(\*) HCl= Acido Citrico a 2%, relação 1:100

CiNH<sub>4</sub>= Citrato de Amônia N pH 7,0, relação 1:100

H<sub>2</sub>O= solubilidade determinada em agua.

TABELA 14. ANÁLISE DA VARIÂNCIA ENTRE TRATAMENTOS E ENTRE REPETIÇÕES NA PRODUÇÃO DO MILHO

TRATAMENTOS	REPETICOES			SOMA	QUADR.	MEDIA
Testemunha	1533	867	1733	4133	17081689	1377.7
Fosfato Nat	1600	1367	800	3767	14190289	1255.7
Lixo Urbano	2400	2167	2867	7434	55264356	2478.0
Lôdo Esgoto	2033	2167	2967	7167	51365889	2389.0
Lixo+Fosfato	3600	2467	2033	8100	65610000	2700.0
Lodo+Fosfato	3667	3267	2833	9767	95394289	3255.7
SOMA	14833	12302	13233	40368		
QUADRADO	2,3e8	1,5e8	1,8e8	1,6e9		
MEDIA	2472.2	2050.3	2205.5	2242.7		
FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS		G.L.	QUADRADO MEDIO	TESTE F	
REPETIÇÕES	546262		2	273131	1.04	NS
TRATAMENTOS	9103536		5	1820707	6,94	(**)
RESÍDUO	2624879		10	262488		
TOTAL	12274678		17			

Valores tabelados para F:

Repetições:  $F(5\%)=4,10$  ,  $F(1\%)=7,56$

Tratamentos:  $F(5\%)=3,33$  ,  $F(1\%)=5,69$

TABELA 15. DIFERENÇA ENTRE MÉDIAS AOS 141 DIAS EXPERIMENTAIS  
PARA TEORES DE FÓSFORO SOLÚVEL - EXTRATOR MEHLICH

TRATAMENTOS	REPETICOES			MEDIA	Tratament - Testemunha
Testemunha	1533	867	1733	1377,7	
Fosfato Nat	1600	1367	800	1255,7	-122,00
Lixo Urbano	2400	2167	2867	2478,0	1100,33 (*)
Lôdo Esgoto	2033	2167	2967	2389,0	1011,33 (*)
Lixo+Fosfato	3600	2467	2033	2700,0	1322,33 (**)
Lodo+Fosfato	3667	3267	2833	3255,7	1878,00 (**)
FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	G.L.		QUADRADO MEDIO	TESTE F
TRATAMENTOS	9103536	5		1820707	6,9 (**)
RESÍDUO	3171136	12		264261	
TOTAL	12274670	17			
DUNCAN			5%	1%	
Desvio Residual	= 514,06	Z = 3,08		Z = 4,32	
Repetições	= 1,73	Ampl = 914,13		Ampl = 1282,15	
G.l.resíduo	= 12				
Valor tabelado para F:					
Tratamentos: F(1%)=5,06					

TABELA 16. ANÁLISE DA VARIÂNCIA AOS 141 DIAS EXPERIMENTAIS  
PARA TEORES DE FÓSFORO SOLÚVEL - EXTRATOR MEHLICH

TRATAMENTOS	REPETICOES		SOMA		QUADR.	MEDIA
Testemunha	7	4	7	18	324	6,0
Fosfato Nat	10	14	17	66	4356	22,0
Lixo Urbano	30	50	70	150	22500	50,0
Lôdo Esgoto	19	22	25	41	1681	13,7
Lixo+Fosfato	120	40	60	220	48400	73,3
Lodo+Fosfato	70	90	60	220	48400	73,3
SOMA	256	220	239	715		
QUADRADO	65536	48400	57121	511225		
MEDIA	42,7	36,7	39,8	39,7		
FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS		G.L.	QUADRADO MEDIO	TESTE F	
REPETIÇÕES	108,1		2	54,1	0,12	NS
TRATAMENTOS	13485		5	2697	5,77	(**)
RESÍDUO	4674		10	467		
TOTAL	18268		17			

Valores tabelados para F:

Repetições:  $F(5\%)=4,10$  ,  $F(1\%)=7,56$

Tratamentos:  $F(5\%)=3,33$  ,  $F(1\%)=5,64$

TABELA 17. DIFERENÇA ENTRE MÉDIAS AOS 141 DIAS EXPERIMENTAIS  
PARA TEORES DE FÓSFORO SOLÚVEL - EXTRATOR MEHLICH

TRATAMENTOS	REPETICOES			MEDIA	Tratament - Testemunha
Testemunha	7	4	7	6,0	
Fosfato Nat	10	14	17	22,0	7,67
Lixo Urbano	30	50	70	50,0	40,00 (*)
Lôdo Esgoto	19	22	25	13,7	16,00
Lixo+Fosfato	120	40	60	73,3	67,33 (**)
Lodo+Fosfato	70	90	60	73,3	67,33 (**)
FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	G.L.		QUADRADO MEDIO	TESTE F
TRATAMENTOS	13485	5		2697	6,7 (**)
RESÍDUO	4782	12		399	
TOTAL	18268	17			
DUNCAN		5%		1%	
Desvio Residual =	19,96	Z = 3,08		Z = 4,32	
Repetições =	1,73	Ampl = 35,50		Ampl = 49,79	
G.l.resíduo =	12				
Valor tabelado para F:					
Tratamentos: F(1%)=5,06					

TABELA 18. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA A TESTEMUNHA  
ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE

COL.A	MÉDIA	D.P.	COL.B	COVAR.	CORREL
Respiração	123.4	42.5	Biomassa	-46.5	-0.069
			P.Mehlich	27.8	0.294
			P.Resina	171.8	0.493
Biomassa	50.9	17.5	P.Mehlich	14.0	0.357
			P.Resina	14.8	0.103
P.Mehlich	6.0	2.4	P.Resina	8.7	0.442
P.Resina	15.3	8.8			

Correlação		t(calc)	t(tab)
Respiração	Biomassa	-0.24	NS
	P.Mehlich	1.11	NS
	P.Resina	2.04	NS
Biomassa	P.Mehlich	1.38	NS
	P.Resina	0.37	NS
P.Mehlich	P.Resina	1.78	NS

Obs: (\*\*) - significativo a 1%  
 (\*) - significativo a 5%  
 NS - não significativo

TABELA 19. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O FOSFATO NAT.  
ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE

COL.A	MÉDIA	D.P.	COL.B	COVAR.	CORREL
Respiração	119.6	43.8	Biomassa	-170.7	-0.262
			P.Mehlich	204.7	0.742
			P.Resina	201.3	0.630
Biomassa	52.1	16.0	P.Mehlich	0.2	0.002
			P.Resina	-27.0	-0.232
P.Mehlich	13.9	6.7	P.Resina	17.6	0.358
P.Resina	16.1	7.8			

Correlação		t(calc)	t(tab)	
Respiração	Biomassa	-0.98		NS
	P.Mehlich	3.99	3.01	(**)
	P.Resina	2.93	2.16	(*)
Biomassa	P.Mehlich	0.01		NS
	P.Resina	-0.86		NS
P.Mehlich	P.Resina	1.38		NS

Obs: (\*\*) - significativo a 1%  
 (\*) - significativo a 5%  
 NS - não significativo

TABELA 20. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O LIXO URBANO ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE

COL.A	MÉDIA	D.P.	COL.B	COVAR.	CORREL
Respiração	170.1	54.1	Biomassa	-438.9	-0.390
			P.Mehlich	750.8	0.871
			P.Resina	1163.0	0.808
Biomassa	42.4	22.3	P.Mehlich	-150.2	-0.422
			P.Resina	-311.9	-0.525
P.Mehlich	24.3	17.1	P.Resina	416.6	0.916
P.Resina	55.1	28.5			

Correlação		t(calc)	t(tab)	
Respiração	Biomassa	-1.53	3.01	NS
	P.Mehlich	6.38		(**)
	P.Resina	4.95		(**)
Biomassa	P.Mehlich	-1.68	2.16	NS
	P.Resina	-2.23		(*)
P.Mehlich	P.Resina	8.25	3.01	(**)

Obs: (\*\*) - significativo a 1%  
 (\*) - significativo a 5%  
 NS - não significativo



TABELA 21. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O LODO DE ESGOTO ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE

COL.A	MÉDIA	D.P.	COL.B	COVAR.	CORREL
Respiração	123.9	49.0	Biomassa	-20.9	-0.002
			P.Mehlich	221.7	0.477
			P.Resina	516.7	0.759
Biomassa	47.7	20.7	P.Mehlich	106.8	0.543
			P.Resina	100.4	0.349
P.Mehlich	14.9	10.2	P.Resina	104.7	0.739
P.Resina	28.9	14.9			

Correlação		t(calc)	t(tab)	
Respiração	Biomassa	-0.08		NS
	P.Mehlich	1.95		NS
	P.Resina	4.20	3.01	(**)
Biomassa	P.Mehlich	2.33	2.16	(*)
	P.Resina	1.34		NS
P.Mehlich	P.Resina	3.96	3.01	(**)

Obs: (\*\*) - significativo a 1%  
 (\*) - significativo a 5%  
 NS - não significativo

TABELA 22. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O LIXO URBANO ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE

COL.A	MÉDIA	D.P.	COL.B	COVAR.	CORREL
Respiração	141.0	55.4	Biomassa	-148.4	-0.237
			P.Mehlich	1354.9	0.868
			P.Resina	1118.8	0.789
Biomassa	48.1	12.1	P.Mehlich	-142.1	-0.416
			P.Resina	-166.7	-0.537
P.Mehlich	36.7	30.2	P.Resina	701.7	0.909
P.Resina	41.0	27.4			

Correlação		t(calc)	t(tab)	
Respiração	Biomassa	0.99		NS
	P.Mehlich	6.31	3.01	(**)
	P.Resina	4.84		(**)
Biomassa	P.Mehlich	-1.85		NS
	P.Resina	-2.29	2.16	(*)
P.Mehlich	P.Resina	7.86	3.01	(**)

Obs: (\*\*) - significativo a 1%  
 (\*) - significativo a 5%  
 NS - não significativo

TABELA 23. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA O LODO DE ESGOTO  
+ FOSFATO ENTRE DIFERENTES PARÂMETROS DE ANÁLISE

COL.A	MÉDIA	D.P.	COL.B	COVAR.	CORREL
Respiração	137.9	67.1	Biomassa	-318.1	-0.265
			P.Mehlich	1364.5	0.830
			P.Resina	1110.2	0.858
Biomassa	41.4	19.2	P.Mehlich	4.9	0.011
			P.Resina	-40.7	-0.110
P.Mehlich	38.1	26.3	P.Resina	420.3	0.830
P.Resina	34.4	20.7			

Correlação		t(calc)	t(tab)	
Respiração	Biomassa	-0.99		NS
	P.Mehlich	5.37	3.01	(**)
	P.Resina	6.03		(**)
Biomassa	P.Mehlich	0.04		NS
	P.Resina	-0.34		NS
P.Mehlich	P.Resina	5.37	3.01	(**)

Obs: (\*\*) - significativo a 1%  
 (\*) - significativo a 5%  
 NS - não significativo

TABELA 24. COEFICIENTES DE VARIACAO PARA P.MEHLICH E P.RESINA PARA AS TESTEMUNHAS

## P.MEHLICH

	Tratamentos em Zero dias						111	141	192	259
	6	3	5	3	5	5	6	7	8	12
	3	5	6	5	3	5	3	4	4	3
	7	5	9	7	4	8	6	7	7	7
MEDIA	5,3	4,3	6,7	5,0	4,0	6,0	5,0	6,0	6,3	7,3
DESVIO	1,7	,9	1,7	1,6	,8	1,4	1,4	1,7	3,7	,0
C.V.(%)	32	22	25	33	20	24	28	28	58	0

## P.RESINA

	Tratamentos em Zero dias						111	141	192	259
	26	12	28	9	15	10	14	30	29	13
	9	20	25	23	10	13	5	11	9	7
	8	13	33	12	8	35	9	27	21	11
MEDIA	14,3	15,0	28,7	14,7	11,0	19,3	9,3	22,7	19,7	10,3
DESVIO	8,3	3,6	3,3	6,0	2,9	11,1	8,3	8,2	2,5	,0
C.V.(%)	58	24	12	41	27	58	89	36	13	0

TABELA 25. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO  
OBTIDA E O P.MEHLICH E P.RESINA AOS 141 DIAS

COL.A	MÉDIA	VAR.	COL.B	MEDIA	VAR.	COVAR	CORREL
PRODUÇÃO	1980	791	P.MEHLICH	33	31.32	16274	0.7038
			P.RESINA	51	33.43	15568	0.6306

CORRELACAO	t(calc)	t(tab)	
PRODUÇÃO X P.MEHLICH	3.57	3.01	(**)
PRODUÇÃO X P.RESINA	2.92	2.16	(*)